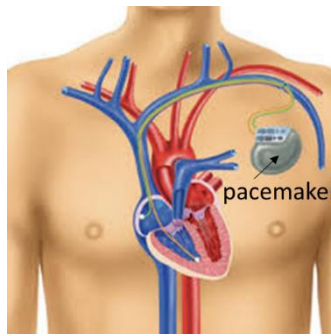


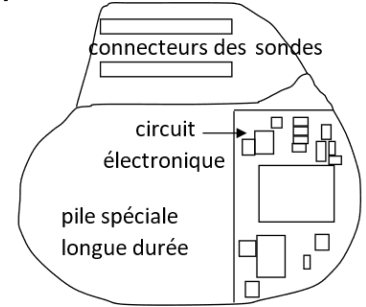
EXERCICES. LE CONDENSATEUR

Exercice 1. Un condensateur pour générer des impulsions : le pacemaker

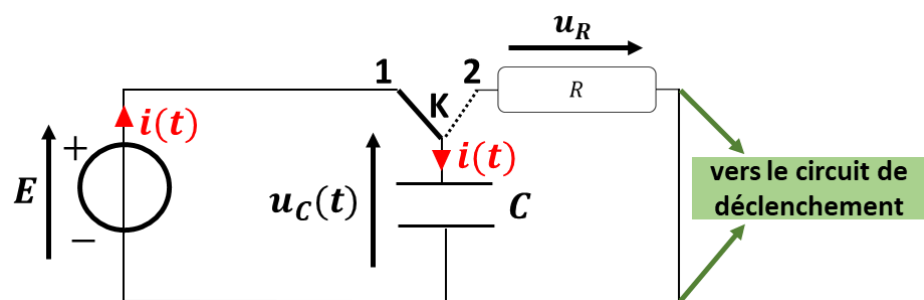
Notre cœur se contracte plus de 100 000 fois par jour. Il bat 24 h sur 24 pendant toute notre vie, entre 60 et 80 fois par minute, grâce à un stimulateur naturel : le nœud sinusal. Lorsque celui-ci ne remplit plus correctement son rôle, la chirurgie permet aujourd'hui d'implanter dans la cage thoracique un stimulateur cardiaque artificiel (appelé aussi pacemaker) qui va forcer le muscle cardiaque à battre régulièrement en lui envoyant de petites impulsions électriques par l'intermédiaire de sondes.



pacemaker :

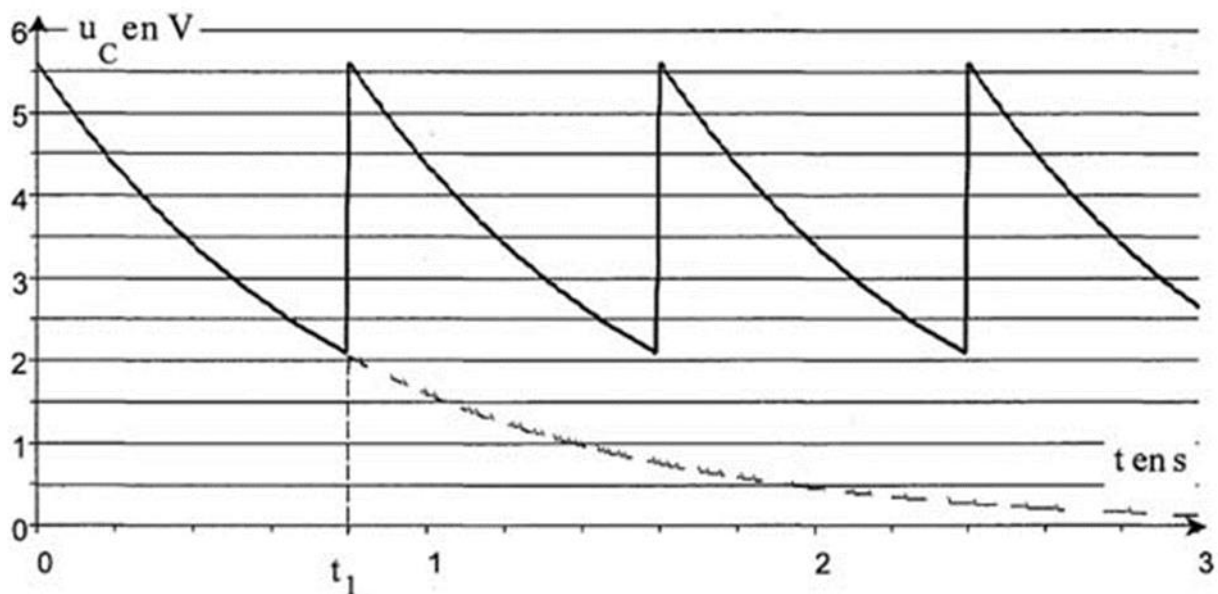


Le pacemaker est en fait un générateur d'impulsions ; il peut être modélisé par le circuit électrique ci-contre avec un condensateur de capacité $C = 470 \text{ nF}$, un conducteur ohmique de résistance R élevée, une pile spéciale de force électromotrice E et un transistor qui joue le rôle d'interrupteur (K). Quand l'interrupteur est en position (1) le



condensateur se charge de façon quasi-instantanée. Puis, quand l'interrupteur bascule en position (2), le condensateur se décharge lentement à travers le conducteur ohmique de résistance R , jusqu'à une valeur limite $u_{C,lim} = \frac{E}{e}$ avec $\ln e = 1$ où $\ln$ représente le logarithme népérien. À cet instant, le circuit de déclenchement envoie une impulsion électrique vers les sondes qui la transmettent au cœur : on obtient alors un battement ! Cette dernière opération terminée, l'interrupteur bascule à nouveau en position (1) et le condensateur se charge, etc...

La tension u_C aux bornes du condensateur a alors au cours du temps l'allure indiquée sur la courbe suivante :



1. Sur la courbe de $u_C(t)$, colorier la (ou les) portion(s) qui correspondent à la charge du condensateur. Comment voit-on graphiquement que le condensateur se charge de manière instantanée ?
2. Déterminer la valeur de E sur la courbe de $u_C(t)$.

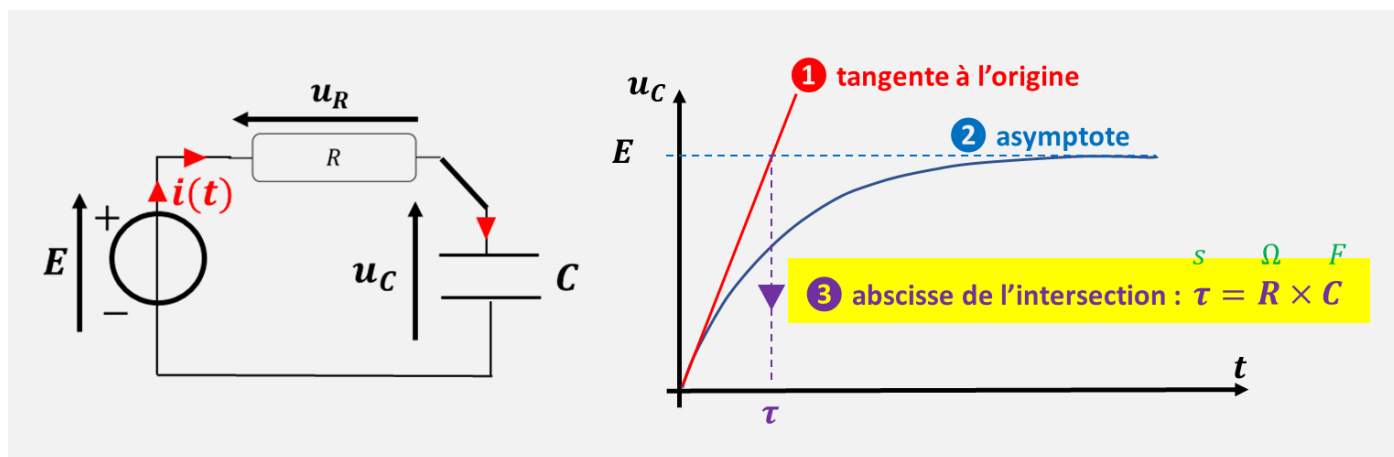
3. Montrer que, lors de la décharge, l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C est de la forme : $\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{\tau} u_C = 0$.
4. Préciser l'expression de τ et montrer que τ est homogène à un temps.
5. Déterminer graphiquement sur la courbe de $u_C(t)$ la valeur de τ . En déduire la valeur de R .
6. Résoudre l'équation différentielle et donner l'expression de $u_C(t)$, en fonction de E et τ , de la courbe en pointillé sur le graphique (courbe de décharge en supposant qu'elle se poursuit jusqu'à la décharge complète du condensateur).

En réalité, à l'instant t_1 (voir sur la courbe), le circuit de déclenchement génère une impulsion électrique ; le condensateur n'est alors pas complètement déchargé mais la bascule de l'interrupteur relance la charge du condensateur.

7. Sachant qu'à l'instant $t_1 : u_{C,lim} = \frac{E}{e}$, montrer que $t_1 = \tau$.
8. En déduire la durée Δt qui sépare deux impulsions électriques consécutives. Quel est alors le nombre de battements du cœur par minute attendu ? Est-ce conforme aux attentes ?

Exercice 2. Justifier la lecture de $\tau = R \times C$ sur la courbe de $u_C(t)$

Un condensateur de capacité C est chargé sous une tension continue E à travers un conducteur ohmique de résistance R (circuit schématisé ci-dessous à gauche). La constante de temps τ est un temps caractéristique de la durée de charge. La courbe ci-dessous à droite indique comment mesurer graphiquement τ sur la courbe de l'évolution temporelle de la tension aux bornes $u_C(t)$ du condensateur.



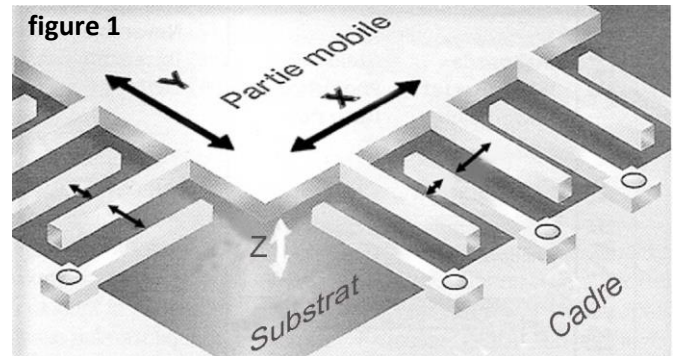
1. Établir l'équation différentielle vérifiée par $u_C(t)$ lors de la charge du condensateur initialement déchargé.
2. Résoudre l'équation et donner l'expression de $u_C(t)$ en fonction du temps, de E , C et R .
3. Établir l'équation de la tangente à l'origine à la courbe de $u_C(t)$.
4. Montrer que l'abscisse de l'intersection de la tangente à l'origine avec l'asymptote correspond au produit $R \times C$.

Exercice 3. Quand le jeu vidéo devient réalité

Les dernières consoles de jeu ont révolutionné le monde du jeu vidéo en offrant à l'utilisateur une nouvelle façon de jouer. En effet, les mouvements imprimés à la télécommande entraînent une réponse du personnage sur l'écran : le geste devient commande. Ceci est rendu possible par l'accéléromètre intégré dans la manette qui convertit les accélérations imprimées par le joueur en tensions électriques.

Lors d'un mouvement du joueur, la partie mobile de l'accéléromètre (**figure 1**) se déplace sans frottements par rapport au cadre. Ces déplacements nanométriques sont réalisables dans les trois dimensions de l'espace (x,y,z) pour traduire le plus fidèlement possible le geste du joueur. Comment ce déplacement est-il traduit en tension électrique mesurable ?

D'après Micro Hebdo n° 619 Jeudi 25 février 2010



Lors de son utilisation, la manette est solidaire de la main du joueur. Elle comporte un accéléromètre constitué d'un cadre fixe par rapport à la main et d'une partie mobile par rapport au cadre. L'accéléromètre (**figure 1**) est constitué par l'assemblage d'éléments de base. L'un d'eux est représenté sur les **figures 2 et 3** ; il est modélisé par deux parties en regard reliées par un ressort.

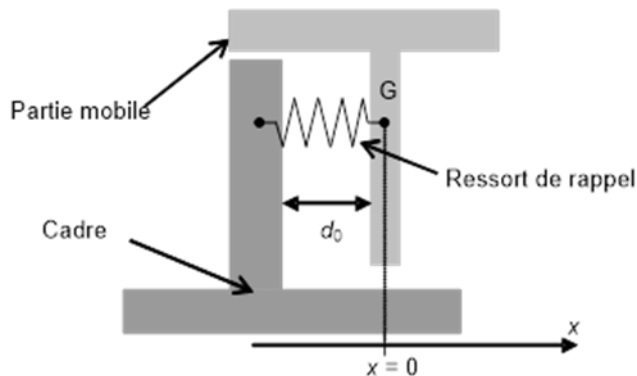


Figure 2. Élément de base de l'accéléromètre au repos

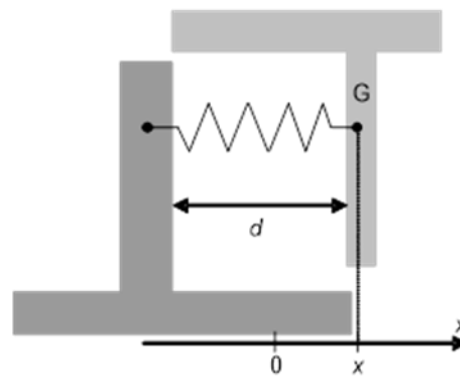


Figure 3. Élément de base de l'accéléromètre soumis à une accélération

Lors du mouvement du joueur, la partie mobile se déplace sans frottements par rapport au cadre. On s'intéresse uniquement à son déplacement suivant l'axe Ox , sa position est repérée par son abscisse x , la distance entre le cadre et la partie mobile en regard vaut alors d (**figure 3**). Le ressort de rappel ramène la partie mobile à sa position d'équilibre pour laquelle la distance entre la partie mobile et le cadre vaut d_0 . On considère que les deux parties en regard de l'accéléromètre constituent les armatures d'un condensateur plan de capacité C . Cette capacité est inversement proportionnelle à la distance d qui sépare les deux armatures soit : $C = \frac{\alpha}{d}$ α étant une constante positive.

Partie 1. Variation de la capacité du condensateur lors du mouvement du joueur

Données sur l'élément de base de l'accéléromètre :

- distance entre les armatures pour l'accéléromètre au repos : $d_0 = 1,50 \mu\text{m}$;
- caractéristique du ressort : constante de raideur : $k = 2,64 \times 10^{-1} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$;
- masse de la partie mobile : $m = 1,60 \mu\text{g}$
- capacité des deux parties en regard dans l'élément de base au repos : $C_0 = 1,30 \times 10^{-14} \text{ F}$

Dans les conditions d'utilisation de la manette, on peut montrer que le déplacement x , selon l'axe Ox , de l'armature mobile par rapport à l'armature liée au cadre est proportionnel à l'accélération a_x subie par la manette soit : $x = -\frac{m}{k} a_x$.

1. Montrer, dans l'expression donnée juste avant, que a_x est homogène à une accélération.

Le joueur imprime à la manette de jeu, selon l'axe Ox , une accélération $a_{1x} = -4,00 \text{ m.s}^{-2}$. L'armature mobile se déplace alors de $x = x_1$ par rapport au cadre. La distance entre les armatures vaut alors $d = d_1$ (**figure 3**). On note C_1 la nouvelle capacité du condensateur.

2. Calculer la valeur du déplacement x_1 de l'armature mobile par rapport au cadre.
3. La capacité du condensateur augmente-t-elle, diminue-t-elle ou reste-t-elle constante lorsque l'accéléromètre subit l'accélération a_{1x} ? Justifier.
4. Montrer que $C_1 = C_0 \times \frac{d_0}{d_1}$. Calculer C_1 .
5. La structure de l'accéléromètre permet de multiplier la capacité C par un facteur β qui dépend du nombre d'éléments de base de l'accéléromètre. Dans le cas où $\beta = 120$, calculer la variation de la capacité totale de l'accéléromètre $\Delta C_1^{tot} = \beta \times (C_1 - C_0)$.

Partie 2. Variation de la tension aux bornes de l'accéléromètre

On considère la manette au repos ; pour la mettre sous tension, on ferme l'interrupteur K dans le montage schématisé **figure 4**. Le condensateur de capacité C_0^{tot} , initialement déchargé, se charge.

Données :

- capacité totale pour l'accéléromètre au repos : $C_0^{tot} = 1,56 \text{ pF}$
- résistance du conducteur ohmique : $R = 100 \text{ k}\Omega$
- force électromotrice du générateur : $E = 3,00 \text{ V}$

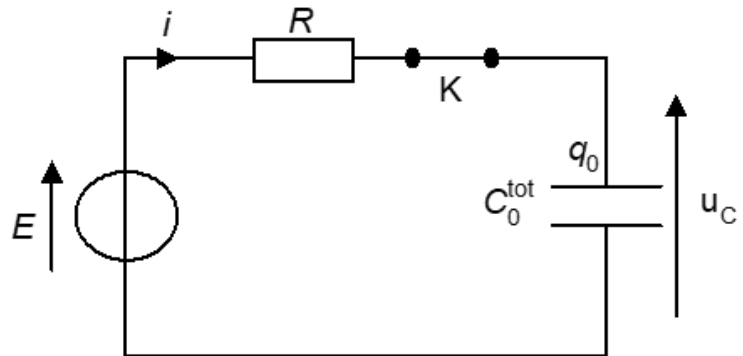


Figure 4. circuit de charge du condensateur

6. Calculer la valeur de la constante de temps $\tau = RC$ du circuit. Le régime permanent est-il atteint au bout de $0,1 \text{ s}$? Justifier.
7. En régime permanent, que vaut l'intensité i du courant dans le circuit ? Justifier.
8. Que vaut alors la tension u_c aux bornes du condensateur quand celui-ci est chargé ? Justifier.

Un dispositif électronique ouvre l'interrupteur K quand le condensateur est chargé (**figure 5**). La tension à ses bornes est notée U_0 .

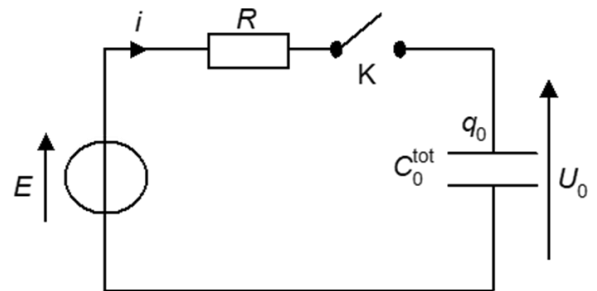


Figure 5. circuit ouvert

9. Lorsque l'accéléromètre est au repos, exprimer la charge q_0 portée par l'armature positive du condensateur en fonction de C_0^{tot} et U_0 .
10. Lors du mouvement de la manette de jeu, l'accéléromètre est soumis à l'accélération a_{1x} . La capacité du condensateur vaut alors $C_1^{tot} = C_0^{tot} + \Delta C_1^{tot}$ et la tension à ses bornes vaut U_1 . Le circuit étant ouvert, la charge q_0 du condensateur reste constante. En déduire que l'expression de la tension U_1 aux bornes du condensateur est : $U_1 = \frac{C_0^{tot}}{C_0^{tot} + \Delta C_1^{tot}} \times U_0$. Calculer U_1 si $\Delta C_1^{tot} = -2,40 \times 10^{-14} \text{ F}$.
11. Un dispositif électronique branché aux bornes de l'accéléromètre fonctionne correctement pour une variation de tension minimale égale à 1 mV . Peut-il détecter l'accélération a_{1x} ? Justifier.

Exercice 4. Un microaccéléromètre capacitif

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 (modèle ADXL330 sur la photo ci-contre). 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. 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 $\epsilon_{air} = 8,9 \text{ pF} \cdot \text{m}^{-1}$
- Permittivité diélectrique du polyéthylène $\epsilon_{PE} = 19 \text{ pF} \cdot \text{m}^{-1}$
- 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 : $C = \epsilon \frac{S}{d}$.

Partie 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.

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 uns 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 $1 \mu\text{m}$.

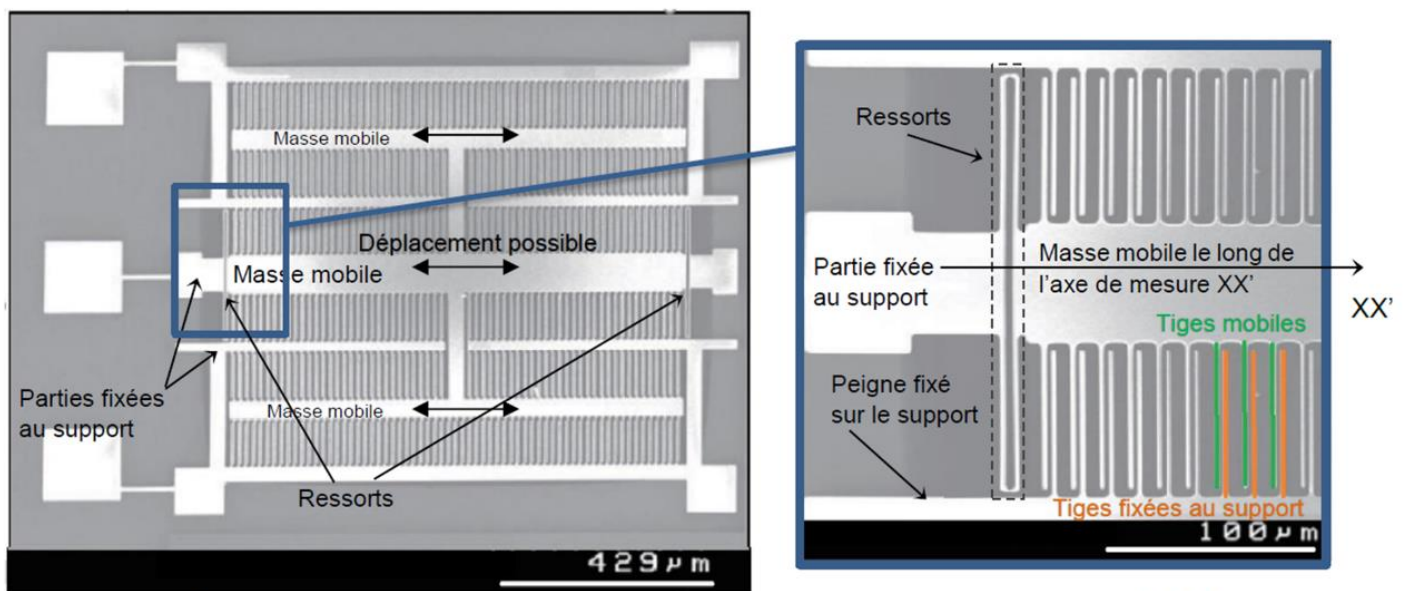


Figure 1. Images au microscope électronique à balayage de l'accéléromètre ADXL330 (le support apparaît en gris et le dispositif en relief apparaît en blanc).

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**.

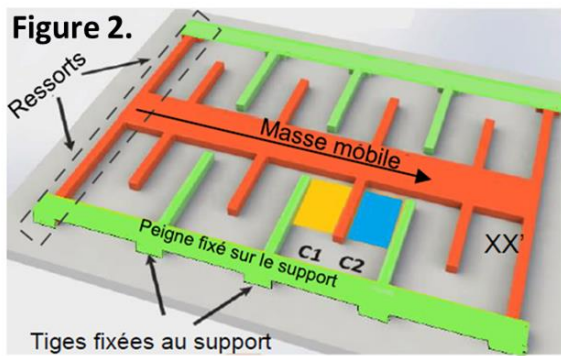


schéma (a)

support n'étant pas soumis à une accélération :
les deux condensateurs élémentaires ont la
même capacité $C_1 = C_2 = C_0$

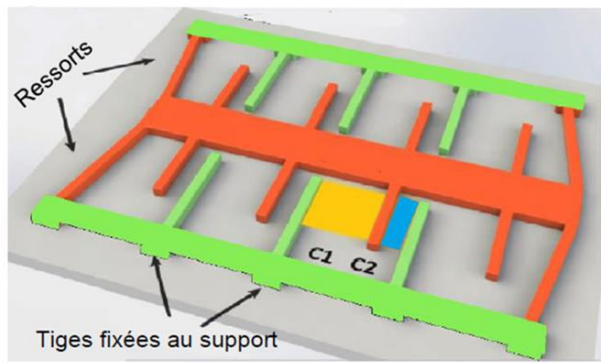


schéma (b)

support soumis à une accélération : $C_1 \neq C_2$

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.
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 $65 \mu\text{m}^2$. Comparer aux ordres de grandeur des valeurs usuelles de capacités.
3. Dans la configuration du **schéma (b)** de la **figure 2**, comparer les valeurs des capacités C_1 et C_2 . Justifier.
4. 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, $U_0 = 1,50 \text{ V}$ est la tension électrique lorsque le capteur n'est soumis à aucune accélération et $B = 0,0306 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^2$ 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 $2,02 \text{ V}$.

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 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ en 3 s . Commenter.

Partie 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.

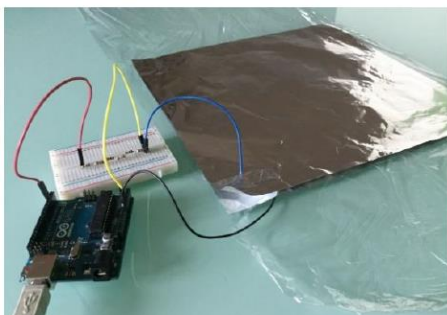


Figure 3a. Photo du dispositif expérimental

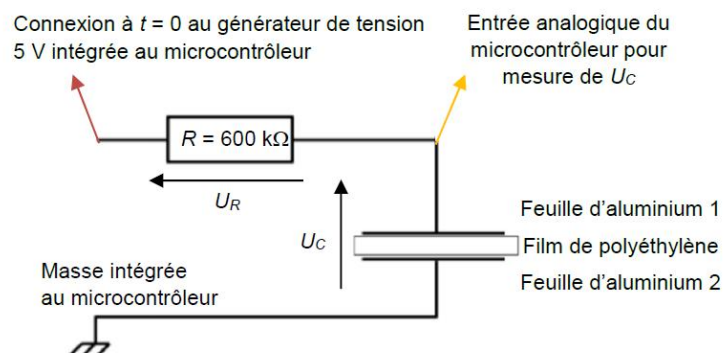
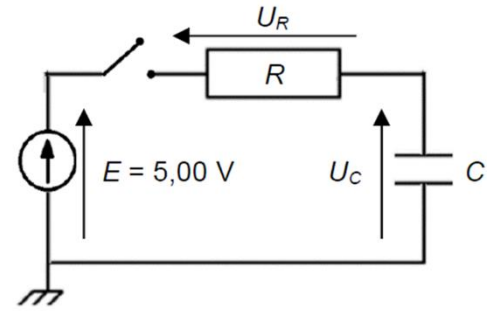


Figure 3b. Schéma électrique équivalent

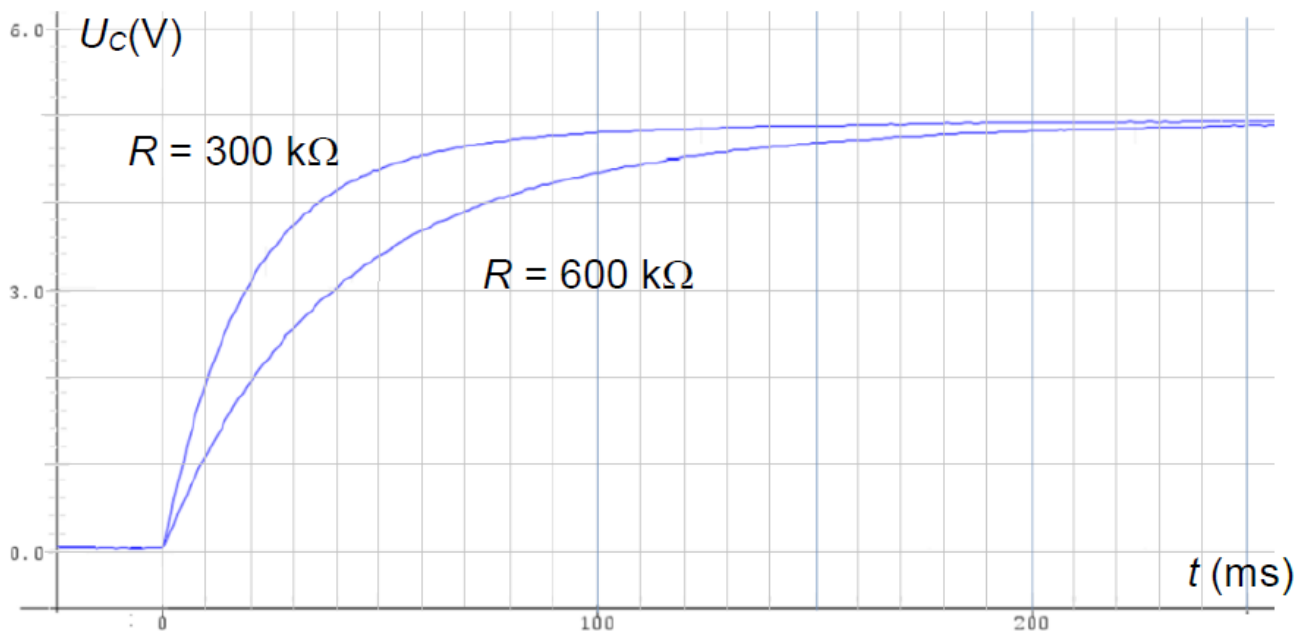
Modélisation du dispositif par un circuit RC

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.



5. Indiquer le signe des charges qui s'accumulent sur chaque feuille d'aluminium (notées 1 et 2).
6. 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.
7. Quelle est la valeur limite de $u_c(t)$ si on laisse le condensateur se charger complètement ?
8. Résoudre l'équation différentielle et donner l'expression de $u_c(t)$, en fonction de E et $\tau = RC$ sachant que le condensateur est initialement déchargé.

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 $R = 600 \text{ k}\Omega$ et $R = 300 \text{ k}\Omega$. Ses évolutions au cours du temps sont représentées ci-dessous :

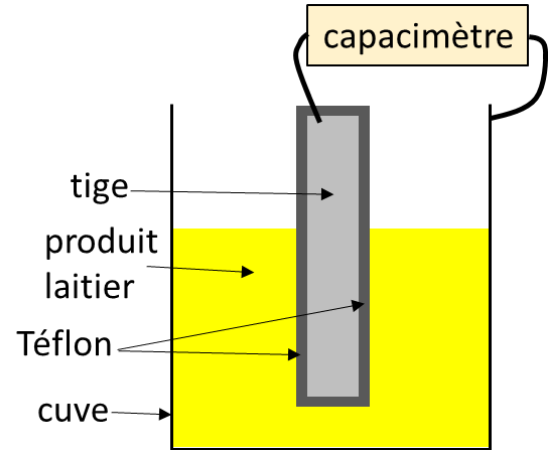


9. Déterminer expérimentalement l'écart entre les feuilles d'aluminium à partir de ces résultats.

Exercice 5. Sonde capacitive pour le remplissage de cuve

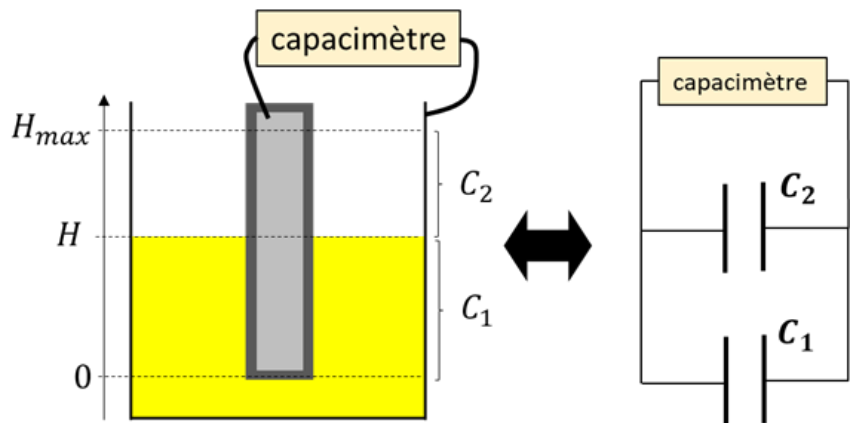
Dans une chaîne de production, le produit laitier est stocké dans un bac de conditionnement avant d'être mis en bouteilles. Dans ce bac, le produit laitier doit être maintenu à un certain niveau pour garantir le remplissage régulier des bouteilles. Le dispositif proposé ici effectue la mesure et le contrôle de niveau de boisson lactée dans un bac de conditionnement. Une sonde dite capacitive est employée pour la mesure du niveau du fluide. Un afficheur renseigne en permanence les opérateurs sur le niveau du réservoir. Lorsque le niveau descend en dessous d'un certain seuil, la vanne d'arrivée de produit s'ouvre pour le remplissage du bac.

La sonde capacitive est assimilable à un condensateur cylindrique. Une tige métallique cylindrique plongée au centre de la cuve forme la première armature du condensateur (figure ci-contre). Cette tige est recouverte d'une mince couche d'isolant (Téflon). La cuve, également métallique et cylindrique, joue le rôle de deuxième armature. Le condensateur ainsi formé possède une capacité C qui dépend du niveau de produit laitier.



Le niveau H de liquide permet de décomposer, en première approximation, le condensateur cylindrique en deux condensateurs en parallèle comme le montre la figure ci-contre :

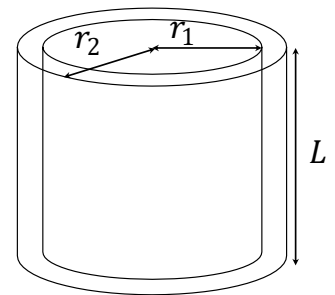
- un condensateur de capacité C_1 dont le diélectrique (isolant) est seulement le téflon, le liquide étant conducteur et en contact avec la cuve
- un condensateur de capacité C_2 dont le diélectrique est principalement de l'air, l'épaisseur du téflon étant négligeable.



La capacité totale du condensateur est obtenue par la relation : $C_{tot} = C_1 + C_2$

Données :

- la capacité d'un condensateur cylindrique en Farad a pour expression : $C = \varepsilon \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$ où r_1 et r_2 sont respectivement les rayons des armatures intérieure et extérieure en m , L la hauteur du condensateur en m et ε la permittivité diélectrique de l'isolant entre les armatures en $F.m^{-1}$.
- permittivités diélectriques : $\varepsilon_{Téflon} = 17,7 pF.m^{-1}$ $\varepsilon_{air} = 8,9 pF.m^{-1}$



Étude du condensateur de capacité C_1 :

La tige de rayon $r_1 = 5,0 mm$ correspond à l'armature intérieure de ce condensateur. Le diélectrique est formé par le téflon d'épaisseur $e = 1,0 mm$. Le liquide conducteur (le lait) en contact avec la cuve métallique réduit alors le diamètre intérieur de l'armature extérieure à celui de l'ensemble tige + isolant ($r_2 = 6,0 mm$).

1. Pour le condensateur de capacité C_1 , quelle est la relation entre sa hauteur L_1 et le niveau H ?
2. Montrer que la capacité C_1 est liée à H par la relation : $C_1 = 610 \times H$ avec C_1 en pF et H en m .

Étude du condensateur de capacité C_2 :

La tige de rayon $r_1 = 5,0 \text{ mm}$ correspond à l'armature intérieure de ce condensateur. Le diélectrique est essentiellement de l'air. La cuve forme alors l'armature extérieure dont le rayon est $r_2 = 1,3 \text{ m}$.

3. Pour le condensateur de capacité C_2 , exprimer sa hauteur L_2 en fonction du niveau H et de H_{max} .
4. Montrer que $C_2 = 10 \times (H_{max} - H)$ avec C_2 en pF et H et H_{max} en m .

Étude du condensateur équivalent de capacité C_{tot} :

5. Lorsque $0 \leq H \leq H_{max}$ avec $H_{max} = 2,0 \text{ m}$, établir la relation numérique entre la capacité C_{tot} du condensateur et le niveau H sous la forme : $C_{tot} = a \times H + b$ avec C_{tot} en pF et H en m .
6. On souhaite que $C_{tot} = 600 \times H + 1200$ avec C_{tot} en pF et H en m . Pour obtenir ce résultat, il faut ajouter un condensateur de capacité fixe C_f en parallèle sur le condensateur de capacité C_{tot} . Quelle doit être la valeur de C_f ?
7. La cuve doit se remplir à nouveau dès que le liquide atteint le niveau de l'extrémité basse de la tige. Pour quelle valeur de capacité mesurée, la commande de remplissage est-elle lancée ?
8. La cuve se remplit jusqu'à atteindre $H_{max} = 2,0 \text{ m}$. Pour quelle valeur de capacité mesurée, la commande d'arrêt de remplissage est-elle lancée ?

Exercice 6. L'effet piézoélectrique au service d'un capteur capacitif

La déformation, sous l'effet d'une action mécanique, de certains cristaux ou céramiques dits anisotropes, induit l'apparition d'une tension électrique U , c'est l'effet piézoélectrique direct, découvert en 1880 par Pierre et Jacques Curie.

Document 1 : Modélisation simplifiée de l'effet piézoélectrique au niveau microscopique

Un cristal entier est constitué d'un empilement régulier de petits arrangements qui se répètent dans les trois directions de l'espace. Considérons au niveau microscopique, un arrangement d'anions et de cations schématisé sur la **figure 1**, tel qu'il peut en exister dans un cristal.

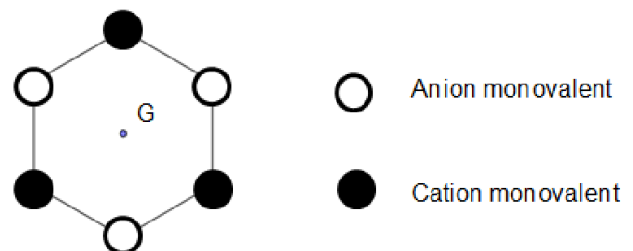
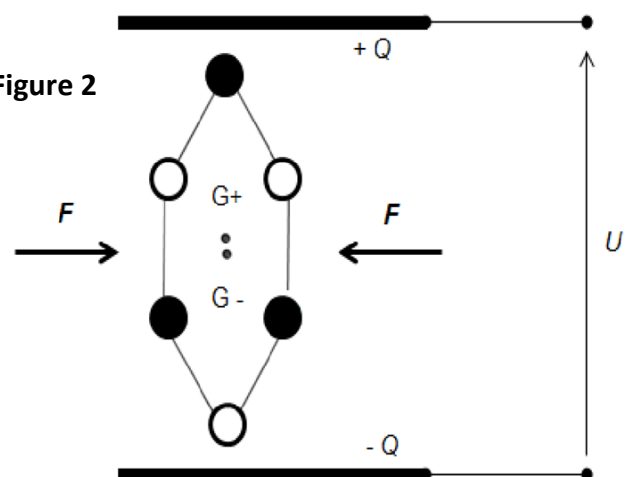


Figure 1 : exemple d'arrangement d'anions et de cations dans un cristal

Quand aucune contrainte mécanique n'agit sur le cristal, pour chaque arrangement élémentaire, le « centre » des charges électriques positives coïncide avec celui des charges électriques négatives (point G sur la **figure 1**). En revanche, dès que le cristal est comprimé, cette coïncidence disparaît, comme le montre le schéma de la **figure 2** (points G+ pour les charges positives et G- pour les charges négatives). Cette compression est modélisée par deux forces opposées de même intensité F et la séparation des centres G+ et G- est d'autant plus importante que la compression est grande. Cette dissymétrie des « centres » de charges électriques pour chaque arrangement élémentaire conduit à l'apparition de charges électriques sur les faces extérieures du cristal, générant ainsi un champ électrique. Une tension électrique U , mesurable, apparaît alors entre les deux surfaces extérieures du cristal. En pratique, ces surfaces sont métallisées pour permettre les connexions nécessaires à l'utilisation du cristal dans un circuit électronique.

Figure 2



Les cristaux naturels ne sont pas les seuls à présenter des propriétés piézoélectriques. Les céramiques du type zirconate de plomb (PZT) en particulier ou des polymères, tel le polyvinylidène difluoré (PVDF), présentent aussi d'excellentes propriétés piézoélectriques. Toutefois, pour que ces propriétés apparaissent, ces matériaux nécessitent au préalable un traitement particulier.

Document 2 : Caractéristiques du fonctionnement d'un capteur piézoélectrique au niveau macroscopique.

Le capteur photographié sur la **figure 3**, de surface d'environ $0,80 \text{ cm}^2$, possède un comportement un peu différent du cristal décrit en introduction.

En effet, les charges électriques apparaissent **sur** les faces soumises à l'action mécanique modélisée par les deux forces

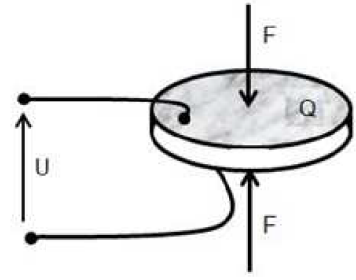


Figure 3 : exemple de capteur de force piézoélectrique prêt à être incorporé dans un circuit électrique.
D'après <http://www.hbm.com>

opposées d'intensité F ; une charge électrique $+Q$ ($Q > 0$) apparaît alors sur la face supérieure tandis qu'une charge $-Q$ apparaît sur l'autre face, telle que l'intensité F et la charge Q sont proportionnelles : $Q = \beta \times F$ avec $\beta = 5,0 \times 10^{-5} \text{ C.N}^{-1}$ appelé constante piézoélectrique. Le capteur se comporte comme un condensateur de capacité 125 pF .

L'objectif est de déterminer la tension électrique détectée par le capteur de la figure 3 lorsqu'il est soumis à un son de niveau d'intensité sonore 50 dB.

Données :

- relation entre l'intensité sonore I (en W.m^{-2}), en un point M du milieu de propagation, et l'amplitude de la pression acoustique p (en Pa : Pascal) en ce point : $I = \frac{p^2}{2 \times \rho \times v}$ où ρ désigne la masse volumique du milieu de propagation (en kg.m^{-3}) et v la célérité de l'onde sonore dans ce milieu (en m.s^{-1})
- valeurs de l'intensité sonore de référence I_0 et de p_0 l'amplitude de la pression acoustique de référence liée à I_0 : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$; $p_0 = 2,0 \times 10^{-5} \text{ Pa}$
- relation entre pression et intensité de force pressante :

la pression : valeur de force pressante par m^2

$$F = P \times S$$

Newton (N) m^2

$$\text{N.m}^{-2} = \text{Pascal (Pa)}$$

- Montrer que le niveau d'intensité sonore L et la pression p sont reliés par la relation : $L = 20 \times \log \frac{p}{p_0}$
- Calculer la pression p exercée sur le capteur lorsqu'il est soumis à un niveau de 50 dB.
- En déduire la valeur de la charge Q qui apparaît sur ses faces.
- Quelle valeur de tension électrique le capteur détecte-il alors ?