
OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



La piézo-électricité

LYCÉE

Lycée du Parc - 69006 Lyon (*Lyon*)

PARTICIPANTS

Élèves

François-Xavier ACCARD, Cyrille COMMUNAL et Ludivine GUTIÈRES

Professeur responsable

Régis NÉEL

Personnel du laboratoire du lycée

Janine FRÉSARD et Gérard PERRAUD

Conseillers scientifiques

Jean-Pierre GIRARD (laboratoire de GBM), Jean-Pierre LIÈVRE (professeur de physique en MP*), Jean Serughetti (UMR 5586)

Laboratoire d'accueil

Département de Physique des Matériaux UMR 5586 - Campus de la Doua, dirigé par M. Jean SERUGHETTI.

BUT DE CE PROJET

Comprendre le phénomène piézo-électrique, produire un cristal piézo-électrique, montrer quelques applications de la piézo-électricité.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

1. UN PEU D'HISTOIRE

En 1880, Pierre et Jacques Curie annoncent leur découverte de la piézo-électricité directe qui consiste en l'apparition de charges électriques à la surface de certains diélectriques anisotropes lorsqu'ils sont déformés sous l'effet d'une force convenablement appliquée. Pour une déformation homogène, cet effet ne s'observe que dans les cristaux dépourvus de centre de symétrie. En 1881, Gabriel Lippmann prédit l'existence du phénomène inverse c'est-à-dire qu'un matériau piézo-électrique soumis à un champ électrique convenable se déforme de façon réversible et peut être excité à sa résonance qui est très aiguë. La même année, les frères Curie confirmèrent expérimentalement les prévisions de Lippmann.

2. FABRICATION D'UN MONOCRISTAL PIÉZO-ÉLECTRIQUE DE SEL DE SEIGNETTE

Au laboratoire de M. SERUGHETTI, nous avons appris que faire un tel cristal d'une vingtaine de cm^3 est plus un art qu'une science... car nous avons dû recommencer plusieurs fois. Un petit cristal (germe) obtenu par évaporation lente d'une solution de tartrate de sodium et de potassium est suspendu à un fil de platine et mis en rotation lente (quatre tours par minute) dans une solution thermostatée et sursaturée en sel. Au cours de la croissance du cristal (qui demande une quinzaine de jours), on diminue la température ($0,1^\circ\text{C}$ par jour) pour maintenir une sursaturation constante. Si le cristal obtenu ne présente pas de fracture, on peut espérer produire l'illumination d'une petite lampe au néon, reliée correctement à deux faces du cristal, en frappant celui-ci à l'aide d'un maillet.

3. APPLICATIONS DE LA PIÉZO-ÉLECTRICITÉ DIRECTE

Elles sont extrêmement nombreuses, nous en avons montré quelques-unes empruntées à la vie de tous les jours.

3.1. Briquet et allume-gaz piézo-électriques

A l'intérieur, nous avons découvert deux petits cylindres identiques en céramique piézo-électrique et montés tête-bêche. Lorsqu'on utilise l'appareil, les deux cylindres se trouvent brusquement et fortement comprimés et les connexions avec les électrodes sont telles que l'ensemble est équivalent à deux piles montées en parallèle, ayant une fém de quelques centaines de volts, donc capable de produire une étincelle électrique entre les deux électrodes du briquet.

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

3.2. Détecteur de chocs et de vibrations

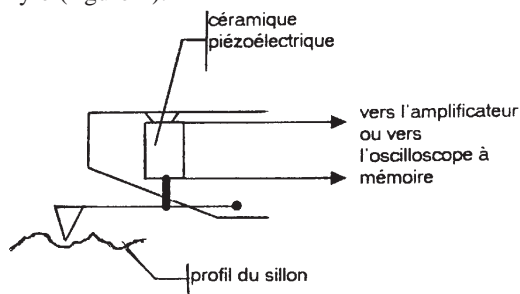
Nous avons pris un des deux cylindres de l'allume-gaz et nous avons relié ses deux bases à l'entrée d'un oscillographe à mémoire. En frappant légèrement une base du cylindre, alors que l'autre est en appui sur la table, on observe l'apparition d'un signal présentant au moins deux alternances symétriques qui correspondent, pour l'une, à la compression du cylindre et, pour l'autre, au retour de celui-ci à sa longueur initiale. De même, nous avons posé une masse marquée 200 grammes sur un détecteur de chocs du commerce formé d'une mince couche d'une céramique piézo-électrique prise entre deux disques métalliques circulaires servant d'électrodes que nous avons reliés à l'oscillographe. Si, à une dizaine de mètres du montage, on frappe le sol avec le pied, on observe un très spectaculaire oscillogramme.

3.3. Balance... et microphone piézo-électriques

Le détecteur de chocs précédent (dont la résistance interne est de l'ordre de $8\text{ M}\Omega$) est posé à plat sur la table. Ses deux bornes sont reliées à l'entrée E_+ et à la masse d'un AO comportant un condensateur entre E_+ et la sortie. Un multimètre de TP mesure la tension de sortie U_s de l'AO tandis que l'on place des masses m sur le détecteur de chocs. On a constaté que $U_s = k.m$. Nous avons inventé une balance piézo-électrique. A la place des masses m , on pose sur le dipôle piézo (relié à l'oscillographe) un petit cube isolant portant sur sa face supérieure un disque de carton devant lequel on parle fort. On observe alors les beaux signaux produit par notre microphone !

3.4. Tête de lecture piézo-électrique

Une tête de lecture récupérée sur un électrophone est reliée à l'oscillographe. Il suffit de passer le bout de son doigt sur la pointe de lecture pour voir apparaître les jolis signaux produit par le minuscule dipôle piézo-électrique dissimulé dans la tête de lecture des disques vinyle (figure 1).

**Figure 1**

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

4. APPLICATIONS DE LA PIÉZO-ÉLECTRICITÉ INVERSE

Dans les chronomètres à pile se trouve un dipôle piézo-électrique analogue au détecteur de chocs décrit plus haut. Nous en avons récupéré un et, via trois interrupteurs type «sonnerie», nous l'avons relié aux bornes de trois GBF en parallèle délivrant une tension carrée respectivement de 262 Hz (do 3), 294 Hz (ré 3) et 330 Hz (mi 3). En appuyant sur les poussoirs, nous pouvons jouer les couplets du «Clair de la Lune» avec le piano électrique que nous venons de créer et dans lequel le dipôle piézo-électrique joue le rôle d'un haut-parleur. Plus généralement, un oscillateur couplé avec un élément piézo-électrique peut constituer un générateur de mélodie, un buzzer, une montre à quartz.

5. PIÉZO-ÉLECTRICITÉ DIRECTE ET INVERSE

5.1. Le sonar

Il a été inventé en 1917 par Paul Langevin pour les besoins de l'armée. C'est un générateur d'ultrasons. Nous avons utilisé un sonar de récupération qui, correctement alimenté, envoyait des trains d'ultrasons (par piézo-électricité inverse) vers le fond d'un récipient en verre, assez profond et contenant de l'eau (figure 2). Après réflexion sur le fond, les ultrasons faisaient produire un signal par la tête du sonar par piézo-électricité directe. L'oscilloscope permettait de mesurer la durée t de l'aller-retour des ondes ultrasonores et nous avons pu mesurer en direct la profondeur h de notre «mer» grâce à la relation $h = ct/2$ avec $c = 1500$ m/s. Un bon régleur nous a prouvé que nous avions raison à quelques millimètres près.

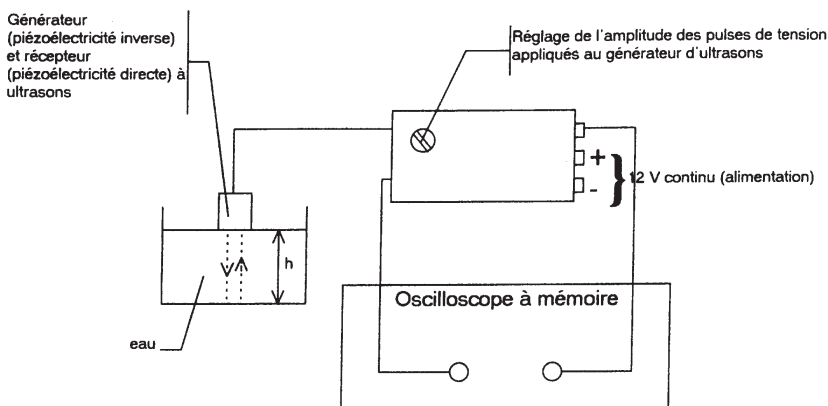


Figure 2

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

5.2. Le débitmètre Doppler piézo-électrique

Cet appareil est utilisé par les spécialistes pour étudier les problèmes circulatoires de leurs patients. Un exemplaire nous a été aimablement prêté. En voici le principe (figure 3). La sonde produit des ultrasons de fréquence très élevée ν_0 (4 ou 8 MHz) par piézo-électricité inverse. Elle est placée contre la veine ou l'artère à examiner. Un gel spécial permet une bonne transmission des ondes ultrasonores qui vont se rétrodiffuser sur les globules du sang lesquels ont une vitesse radiale $v \cdot \cos\theta$ par rapport à la sonde. Les ondes de retour ont une fréquence ν différente de ν_0 . C'est l'effet Doppler. Dans la sonde, un deuxième module piézo-électrique reçoit ces ondes et produit un signal électrique de fréquence ν par effet direct. Un dispositif crée alors un signal de fréquence $\nu - \nu_0$ (en valeur absolue) que l'on peut entendre dans le haut-parleur de l'appareil. On a $(\nu - \nu_0)/\nu_0 = 2v \cdot \cos\theta / c$. A titre d'exemple, si $(\nu - \nu_0) = 200$ Hz, $\nu_0 = 4$ MHz, $\theta = 45^\circ$ et $c = 1500$ m/s alors, $v = 0,106$ m/s. Cela signifie que le patient, en l'occurrence le président du jury des Olympiades de Physique est bien vivant !

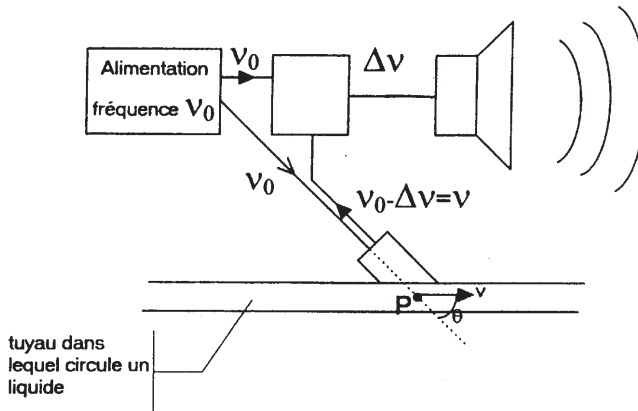


Figure 3