HAL
open science

Caractérisation d'un générateur piézoélectrique flexible

Raynald Seveno, Benoit Guiffard, Julien Le Scornec, Eric Tanguy, Patrick Derval, Saïd Hassini, Bruno Massé, Philippe Navarro

To cite this version:

Raynald Seveno, Benoit Guiffard, Julien Le Scornec, Eric Tanguy, Patrick Derval, et al.. Caractérisation d'un générateur piézoélectrique flexible. CETSIS 2018 (Colloque consacré à l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes), Oct 2018, Fes, Maroc. hal-01913234

HAL Id: hal-01913234

https://hal.science/hal-01913234

Submitted on 3 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Caractérisation d'un générateur piézoélectrique flexible

Raynald Séveno, Benoit Guiffard, Julien Le Scornec, Éric Tanguy, Patrick Derval, Saïd Hassini, Bruno Massé et Philippe Navaro
raynald.seveno@univ-nantes.fr
Université de Nantes, UFR Sciences et Techniques, 2 rue de la houssinière, 44322 Nantes cedex3

RESUME : Dans le cadre d'une opération de vulgarisation de la recherche, des élèves de 1ère STI ont travaillé sur l'étude d'un générateur piézoélectrique flexible. Un projet de recherche portant sur les énergies renouvelables leur a tout d'abord été présenté, afin de leur expliquer les applications pratiques envisagées pour le générateur étudié. Dans un second temps, les élèves ont participé à une séance de travaux pratiques dans laquelle ils ont utilisé les lois de l'électrocinétique en régime sinusoïdal. Cette approche de l'électricité par la recherche a beaucoup plu aux élèves, notamment de par la thématique abordée des énergies renouvelables.

Mots clés : piézoélectricité, vulgarisation de la recherche.

1 INTRODUCTION

Grâce aux deux facettes de leur métier, les enseignants-chercheurs ont la possibilité de présenter leurs thématiques de recherches dans leurs cours, puisqu'enseignant généralement dans leurs disciplines de prédilection. Cependant, si la présentation de travaux de recherche dans un enseignement de Master reste relativement aisée, il n'en est pas de même pour les enseignements de Licence, et plus particulièrement pour le public de 1ère année qui ne dispose pas forcément du bagage scientifique nécessaire à l'appréhension d'une recherche de pointe. Pourtant, c'est souvent à ce niveau que les étudiants choisissent leur discipline de cœur, et il est important de porter un soin particulier aux enseignements qui leur sont prodigués. A l'heure actuelle, la recherche portant sur des énergies renouvelables pour pallier à la pénurie des énergies fossiles est un sujet d'intérêt commun, notamment auprès des jeunes qui sont très concernés par les problèmes environnementaux. Beaucoup de travaux de recherches s'articulent autour du développement de générateurs capables de convertir des énergies ambiantes en électricité, comme par exemple les cellules solaires, les générateurs électrostatique ou électromagnétique. Dans ce papier est présentée une séance de travaux pratiques basée sur le projet de recherche N-*air*-J, dont l'objectif est d'étudier la possibilité de récupérer l'énergie des courants d'air en utilisant un brin d'herbe synthétique capable de transformer de l'énergie mécanique en électricité (principe de la piézoélectricité [1]). Ce générateur est constitué d'un film mince piézoélectrique de zircono-titanate de plomb (PZT) réalisé au laboratoire IETR [2]. Ce film piézoélectrique a été encapsulé par lamination dans du polyethylene terephtalate (PET) afin de le rendre flexible (figure 1). Dans le cadre de l'opération *Passeport Recherche* organisée par l'Université de Nantes, des élèves de 1ère des Lycées Alcide d'Orbigny de Bouaye (2017) et de la Colinière de Nantes (2018) ont caractérisé ce générateur piézoélectrique flexible en utilisant les lois de l'électrocinétique, ce qui leur a permis de voir un cas concret d'application des connaissances théoriques vues en cours.

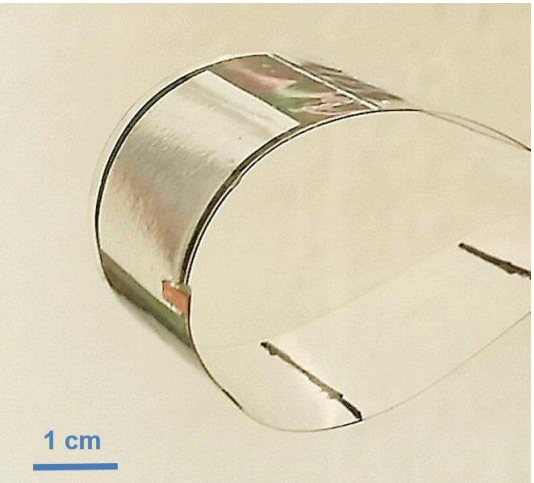

fig 1 : Générateur piézoélectrique flexible (IETR)

2 SEANCES DEVANT LES ELEVES

2.1 Présentation du projet de recherche

Une première séance de 1h30 est consacrée à la présentation du projet de recherche : la récupération d'énergie de simples courants d'air grâce à des brins d'herbes synthétiques à base de films flexibles piézoélectriques. Le principe de la piézoélectricité est alors expliqué, ainsi que le procédé de fabrication du générateur étudié dans le projet de recherche. L'attention des élèves est attirée par une démonstration en direct : Le générateur piézoélectrique (qui ressemble à un bout de plastique quelconque) est directement relié à un oscilloscope afin d'observer le signal électrique fourni par simple pliage manuel. Des élèves sont invités à venir manipuler le générateur, les impliquant implicitement dans la présentation. La question de la forme du signal électrique obtenu leur est alors posée : est-ce un signal continu, alternatif ? Au vu du signal d'allure non conventionnelle observé sur l'oscilloscope (figure 2), les élèves se rendent compte qu'il ne ressemble pas aux signaux étudiés en cours. Il leur est alors expliqué que le courant électrique produit est proportionnel à la variation de contraintes mécaniques appliquées au générateur.

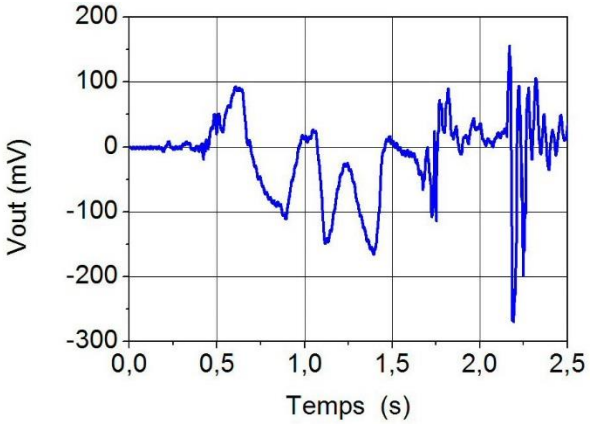

fig 2 : Signal aléatoire généré manuellement aux bornes du générateur piézoélectrique

Se posent alors les questions suivantes : comment peut-on comparer les générateurs piézoélectriques entre eux ? Comment quantifier la quantité d'électricité produite par ce type de générateur ? Pour répondre à ces questions, le circuit équivalent (figure 3) est donné aux élèves.

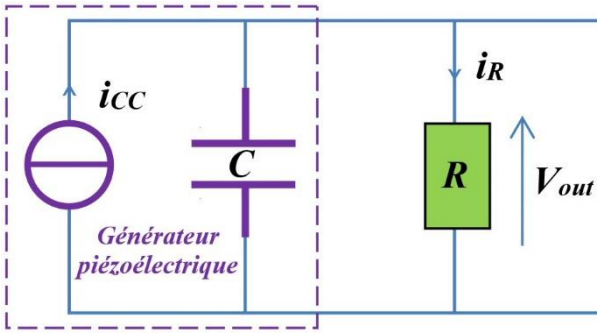

fig 3 : Schéma du circuit équivalent utilisé pour la mesure du courant piézoélectrique

Le générateur piézoélectrique est modélisé par un générateur de courant idéal i_{CC} en parallèle d'une capacité linéaire C (la résistance de fuite du générateur n'est pas prise en compte car très grande devant les résistances de charge utilisées). La tension de sortie V_{out} est mesurée aux bornes d'une résistance de charge R. Le courant i_{CC} étant proportionnel à la variation de contraintes appliquée au film piézoélectrique, il est possible d'obtenir un signal quasi sinusoïdal en adaptant la déformation de ce dernier. Un exemple de signal obtenu grâce à un dispositif d'excitation mécanique réalisé en Lego© est donné en figure 4. La mesure de la tension $V_{out} = V_R \cos(\omega t)$ (avec $\omega = 2\pi f$, f étant la fréquence d'excitation mécanique appliquée au film piézoélectrique) permet de remonter aux valeurs de l'amplitude V_R et de la fréquence f. Les élèves utilisent alors la loi d'Ohm (éq.1) pour retrouver la valeur de l'amplitude I_R du courant traversant la résistance de charge, puis utilisent la formule de l'équation 2 pour déterminer la puissance P dissipée dans la résistance de charge R.

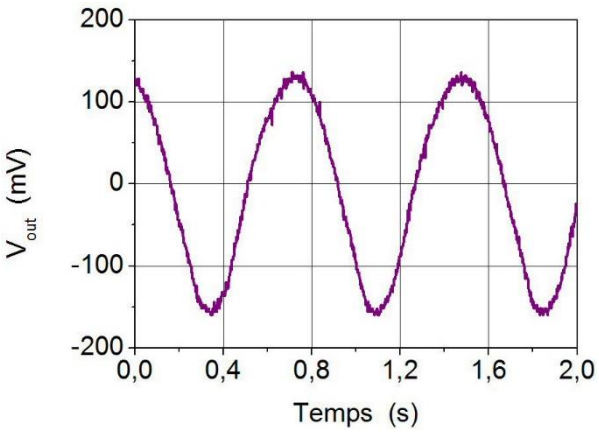

fig 4 : Signal quasi sinusoïdal généré aux bornes du générateur piézoélectrique grâce au dispositif d'excitation mécanique en Lego©

$$I_R = U_R/R \quad (1) \qquad\qquad P = U_R^2/2R \quad (2)$$

L'attention des élèves est portée sur le fait que les grandeurs mesurées I_R, U_R et P dépendent de la valeur de la résistance de charge R (figure 5).

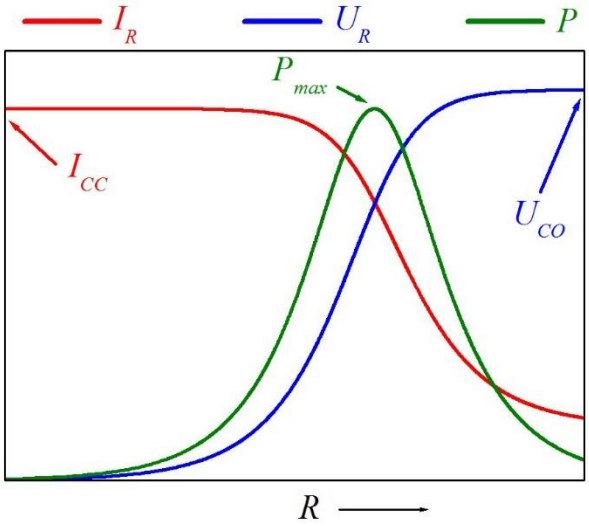

fig 5 : Courbes théoriques des amplitudes de courant, tension et puissance en fonction de la valeur R de la résistance de charge

La propriété particulière du générateur piézoélectrique (pour une excitation mécanique donnée), à savoir le courant de court-circuit I_{CC}, courant que l'on obtiendrait pour une résistance de charge nulle, peut être déterminée à partir de l'équation 3 obtenue en appliquant la formule du pont diviseur de courant.

$$I_{CC} = I_R \times \sqrt{1 + (RC\omega)^2} \qquad (3)$$

La tension en circuit ouvert U_{CO} et la puissance maximale P_{max}, respectivement obtenues pour $R = \infty$ et

$R = 1/(C\omega)$, peuvent être déterminées à partir des équations 4 et 5.

$$U_{CO} = I_{CC}/C\omega \quad (4) \qquad P_{max} = I_{CC}^2/4C\omega \quad (5)$$

Les élèves peuvent constater qu'il est important d'adapter la résistance de charge placée aux bornes d'un générateur piézoélectrique si l'on veut récupérer un maximum de puissance.

2.2 Séance de travaux pratiques

Lors de la deuxième séance de 1h30, les élèves passent à la pratique, chaque binôme se voyant attribuer un poste de travail. Chaque poste est constitué des éléments suivants :

- 1 générateur piézoélectrique flexible
- 1 dispositif d'excitation mécanique Lego©
- 1 alimentation continue
- 1 oscilloscope + sonde 1 MΩ
- 1 platine d'essai
- 3 résistances de 1 MΩ
- 1 ordinateur + logiciel *Regressi*
- 1 capacimètre

L'alimentation continue active le moteur DC du dispositif Lego©, le courant délivré permettant de fixer la fréquence f d'excitation mécanique appliquée au générateur piézoélectrique. Ce dernier est connecté à la sonde 1 MΩ de l'oscilloscope par le biais de la platine d'essai. Avec le capacimètre, les élèves mesurent précisément la valeur de la capacité linéaire C du générateur piézoélectrique. Il est très important d'effectuer la mesure lorsque ce dernier est immobile, car sinon, il envoie un courant dans le capacimètre, ce qui va non seulement fausser la mesure, mais également endommager l'appareil. Les élèves fixent ensuite une fréquence d'excitation mécanique f (autour de l'Hertz) appliquée au générateur piézoélectrique par le biais de l'alimentation continue reliée au moteur DC du dispositif Lego©. Ils mesurent alors précisément l'amplitude U_R et la fréquence f de la tension quasi sinusoïdale V_{out} visualisée à l'oscilloscope. La mesure de U_R est ensuite reconduite pour différentes valeurs de résistances de charge R (500 kΩ, 333 kΩ et 250 kΩ), en plaçant en parallèle de la sonde de l'oscilloscope les résistances de 1 MΩ.

A l'aide du logiciel *Regressi*, les élèves tracent les points expérimentaux de la courbe $U_R = f(R)$. Ils modélisent ensuite cette courbe avec l'outil de modélisation du logiciel (figure 6) en utilisant la formule suivante :

$$U_R = R \times I_{CC}/\sqrt{1 + (RC\omega)^2} \qquad (6)$$

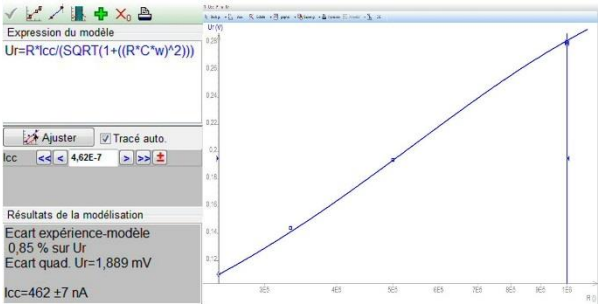

fig 6 : Modélisation des points expérimentaux de la courbe $U_R = f(R)$ pour la détermination de I_{CC}

Cette modélisation permet d'obtenir une valeur affinée du courant piézoélectrique I_{CC}. A ce stade, il est important de montrer aux élèves le bon accord entre la modélisation et les points expérimentaux, ce qui permet de valider le choix du circuit équivalent au montage expérimental.

Un écart expérience-modèle important (> 5 %) a pu être observé lors de certaines expérimentations, mais cela venait du fait que les élèves avaient largement arrondi la valeur de la capacité C (mauvais choix de calibre) et/ou manqué de précision dans la mesure à l'oscilloscope de de la fréquence f.

En théorie, pour une même variation de déformation appliquée au film piézoélectrique, le courant I_{CC} est proportionnel à la fréquence d'excitation mécanique f. Les élèves vont vérifier ce point en réitérant l'expérience précédente pour plusieurs fréquences d'excitation mécanique f. Ils vont ainsi obtenir plusieurs valeurs de courant I_{CC} pour les différentes valeurs de f, et pouvoir tracer sous le logiciel *Regressi* les points expérimentaux de la courbe $I_{CC} = f(f)$. La régression linéaire réalisée permet d'obtenir la pente A de la droite, et la densité d'énergie volumique E_V délivrée par le générateur piézoélectrique (pour une variation de déformation donnée) est donnée par l'équation 7, avec V le volume du matériau piézoélectrique utilisé dans le générateur, équivalent à $5{,}4.10^{-4}$ cm^3.

$$E_V = A^2/(8\pi CV) \qquad (7)$$

3 PORTABILITE DU BANC DE TEST DU GENERATEUR PIEZOELECTRIQUE

Afin de rendre portatif le banc de test du générateur piézoélectrique, l'oscilloscope et l'alimentation continue qui nécessitent un branchement sur le secteur ont été remplacés par une carte d'acquisition *National Instruments NI myDAQ* [3]. La sortie + 5 V de la carte est utilisée pour alimenter le moteur DC du dispositif Lego©, avec en série un potentiomètre 0-100 Ω qui permet de régler la fréquence d'excitation mécanique appliquée au générateur piézoélectrique.

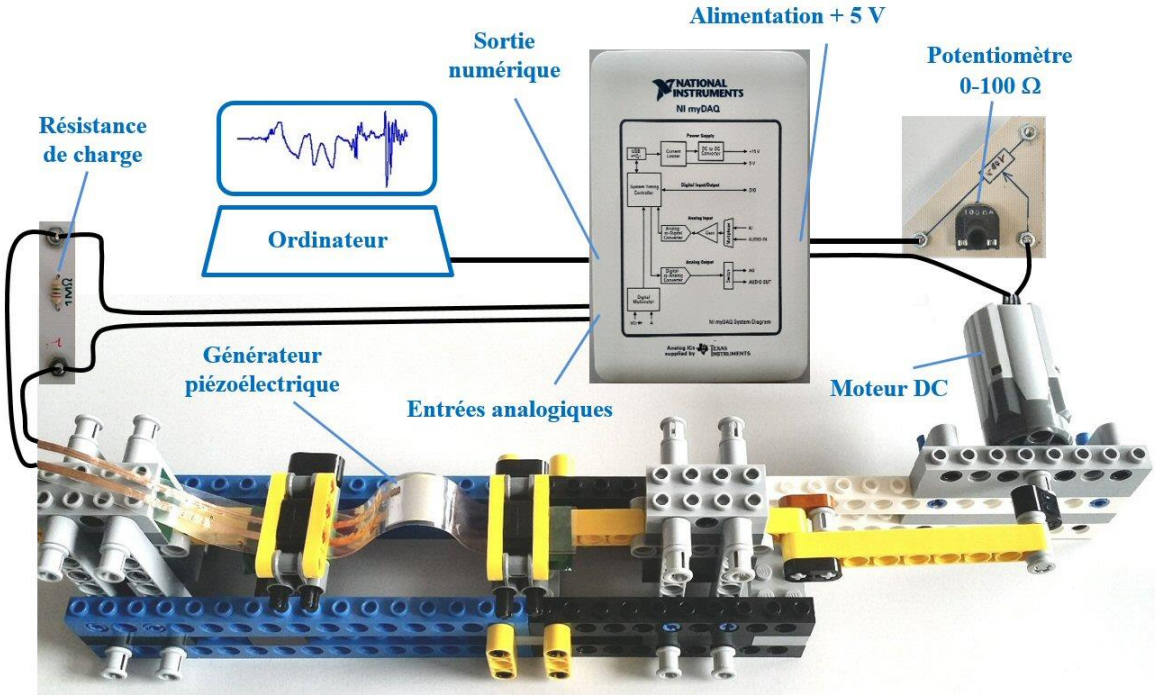

fig 7 : Banc de test portatif du générateur piézoélectrique flexible

Les entrées analogiques de la carte sont utilisées pour mesurer la tension aux bornes de la résistance de charge branchée en parallèle du générateur piézoélectrique. La sortie numérique est reliée à un ordinateur, la fonction *oscilloscope* de l'interface *Labview* qui contrôle la carte, permettant alors de visualiser le signal numérisé. Cette solution présente l'avantage d'une autonomie énergétique, puisque le tout est alimenté uniquement par la batterie de l'ordinateur portable. Le contrôle de la fréquence d'excitation mécanique *f* et l'acquisition du signal fourni par le générateur se faisant par la carte *NI*, il est possible d'automatiser entièrement la caractérisation du générateur par programmation *Labview*, ce qui peut faire l'objet d'un stage très intéressant pour un étudiant en Master d'électronique.

4 RETOUR D'EXPERIENCE

Les élèves ont beaucoup apprécié la séance de travaux pratiques, qui pour 70 % d'entre eux a permis de mieux comprendre le projet de recherche qui leur a été présenté lors de la première séance. 70 % d'entre eux estiment que le projet de recherche leur a permis d'identifier un cas concret d'application des notions d'électricité. Pour 60 % des élèves, ces deux séances axées sur la récupération d'énergie renouvelable à partir de générateurs piézoélectriques les ont motivés pour étudier plus avant l'électricité. Enfin, pour 62 % des élèves interrogés, la séance de travaux pratiques leur a permis de mieux comprendre les notions d'électricité vues en cours.

Du côté enseignant, l'avis général est que la séance de travaux pratiques est bien conçue, mais qu'elle nécessite un encadrement important (1 enseignant pour 4 élèves) pour des élèves de Lycée, peu habitués à faire des modélisation de points expérimentaux.

5 CONCLUSION

Le projet de recherche N-*air*-J a fait l'objet d'une présentation à des élèves de lycées de 1ère, suivie d'une séance de travaux pratiques leur permettant d'expérimenter un générateur piézoélectrique flexible et d'appliquer les notions élémentaires d'électrocinétique. Cependant, le TP serait plus adapté à des étudiants de 1ère année de Licence qui ont les connaissances suffisantes pour pouvoir gérer la séance en toute autonomie.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier A. Cheillan, T. Morisseau, et E. Segalen, ainsi que les élèves du lycée *Alcide d'Orbigny* (Bouaye) et du lycée *La Colinière* (Nantes) pour leurs participations à l'action *Passeport Recherche* organisée par l'université de Nantes. Le montage de la séance de travaux pratique a été budgétisé par le projet de recherche N-*air*-J, financé par la région *Pays de la Loire* (convention n° 2014 07965).

Bibliographie

[1] http://www.noliac.com/tutorials/piezo-basics/
[2] R. Seveno and D. Averty, « Ultra light tunable capacitor based on PZT thin film deposited onto aluminium foil », *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, vol. 68, nº 2, p. 175‑179, 2013.
[3] https://www.ni.com/fr