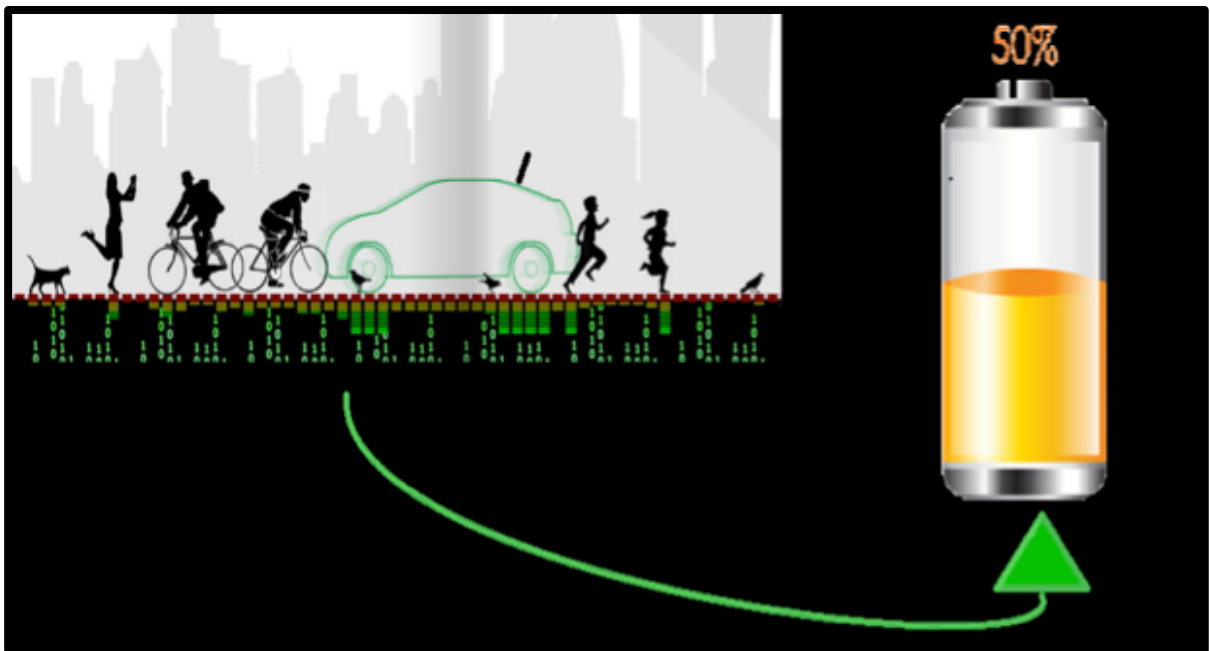


Sol Piézoélectrique

SOL PIÉZOÉLECTRIQUE



Sol Piézoélectrique

Equipe de projet: Ley Anaïs, Siervo Yann, Gilloz Nathan, Donnet-Monay Quentin

Métier: Automaticien/ne

Année d'apprentissage: 1^{ère} Année

Nom de l'école ou de l'entreprise: Ecole Des Métiers, EPTM, Sion

Nom de l'enseignant ou du maître d'apprentissage: Vernailen Johan

Résumé du projet:

Ce projet a pour objectif de créer de l'énergie grâce à la piézoélectricité. Cette énergie pourrait être créée grâce à des sols piézoélectriques. Les objectifs de ce projet sont de calculer combien d'électricité pourrait être produite avec un sol piézoélectrique. Ainsi que de trouver les différentes utilisations de cette technologie.

Ce projet nous a permis d'apprendre à travailler en groupe et de produire un rapport en parallèle de notre avancement au fur et à mesure des semaines. Cela nous a aussi permis de prendre conscience des difficultés du travail de groupe.

Projet Innovation: Potentiel d'économie d'énergie en kWh par an: $62.97 * 10^9 \text{ kWh/an}$

Catégories du concours: Prix Innovation

Sommaire

1. Introduction.....	2
1.1. Situation de départ	2
1.2. Motivations	2
2. Recherche d'idées / définition du projet	3
2.1. Définition du projet et objectifs	3
2.2. Faisabilité.....	3
3. Planification du projet.....	4
3.1. Les étapes les plus importantes.....	6
3.2. Plan détaillé des tâches	6
4. Mise en œuvre concrète	7
5. Calculs.....	15
6. Rapport du projet	19
6.1. Rétrospective	19
6.2. Prises de conscience.....	19
6.3. Perspectives	20
7. Bibliographie	25
Annexes	27

1. Introduction

1.1. Situation de départ

En Suisse, la production d'électricité est principalement hydroélectrique (57,9 %) et nucléaire (36,4 %). Suite au tremblement de terre, de Fukushima, au Japon, en mars 2011 ayant entraîné l'accident nucléaire de Fukushima, le Conseil Fédéral a annoncé le 25 mars 2011 la sortie progressive de l'énergie nucléaire, d'ici 2034.

Cette décision nous amène à nous poser la question du remplacement de l'énergie nucléaire. Celui-ci représente quand même une grande partie de notre production énergétique. Le solaire, l'éolien, les barrages au fil de l'eau sont des exemples de solutions. Malheureusement malgré les nombreuses avancées technologiques qui permettent un meilleur rendement ou la démocratisation de ces installations, le coût reste quand même élevé.

Pour l'avenir, nous avons donc réfléchi à un autre moyen de produire de l'énergie facilement et à moindre coût. Notre projet a pour but de produire facilement, sans grand moyen et sans inconvénient de l'énergie électrique.

1.2. Motivations

Nous participons au concours pour innover dans le milieu de l'écologie et proposer de nouvelles façons de produire de l'énergie à moindre coût, facilement et avec une technologie qui a de grande chance d'évoluer et d'être utilisée dans une multitude d'endroits.

2. Recherche d'idées / définition du projet

2.1. Définition du projet et objectifs

Notre projet a pour objectif de créer de l'énergie, lorsque des personnes marchent sur le sol grâce à la technique piézoélectrique.

La piézoélectricité permet de produire à moindre coût, facilement, sans grand moyen et sans inconvénient de l'énergie électrique.

Cette technologie pourrait être utilisée à divers endroits. Une grande évolution semble être possible technologiquement.

Notre projet se trouve dans la catégorie « Innovation ». Nous allons essayer de construire un prototype de dalle piézo-électrique. Par ailleurs, nous essayerons de trouver d'autre utilisation de cette technologie.

2.2. Faisabilité

Lors de la réalisation de notre projet nous risquons de nous heurter à quelques problèmes de connaissance. L'avantage d'un travail de groupe est que nous pouvons allier les connaissances de chacun ce qui nous permettra, nous l'espérons, de trouver des solutions. Nous pourrons aussi, si nous en avons besoin, demander de l'aide à nos professeurs.

3. Planification du projet

Notre projet a pour but la création d'énergie électrique, grâce à la piézoélectricité dissimulée dans un sol. Nous allons essayer de monter une dalle piézoélectrique. Cette technologie semble pouvoir avoir diverses utilisations. Nous allons donc également chercher des idées de développements futurs.

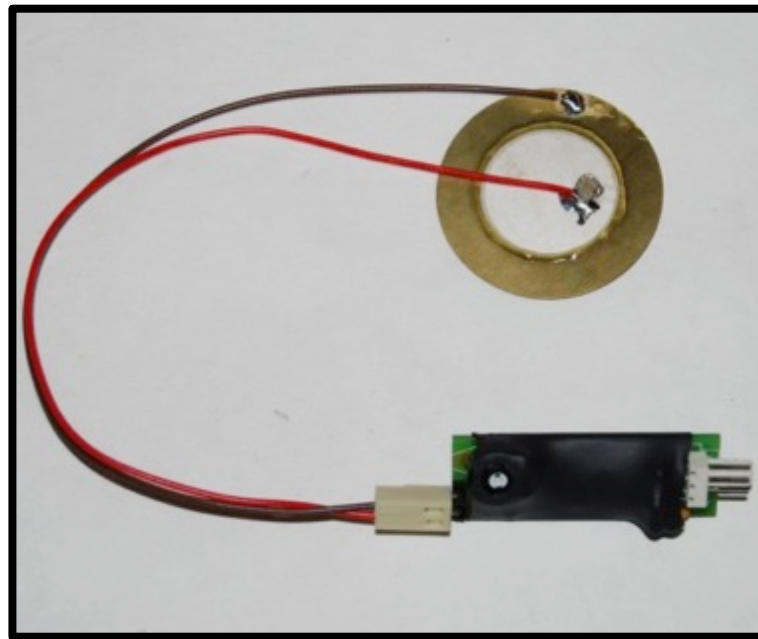


Figure 1: Élément piézoélectrique

Notre projet de dalle piézoélectrique nécessitera plusieurs étapes. Tout d'abord, nous allons nous renseigner sur la technologie de la piézo-électricité, afin de comprendre son fonctionnement.

Nous essayerons, ensuite, de dimensionner et de monter un circuit afin de définir le plus précisément possible combien pourra produire un élément. Nous essayerons également d'optimiser notre circuit afin d'avoir la meilleur production possible.

Une fois le dimensionnement d'un élément terminé, nous calculerons combien d'éléments pourront être installé sur notre dalle. Nous monterons le nombre d'élément nécessaire sous la dalle et nous passerons à la dernière partie pratique de notre projet en calculant et mesurant combien peut produire notre dalle. Afin d'avoir une meilleure vision nous ferons nos mesures avec différentes utilisations de la plaque, par exemple en marchant normalement, en courant ou en sautant dessus cette structure. Cela nous permettra d'avoir une plus grande diversité de mesures.

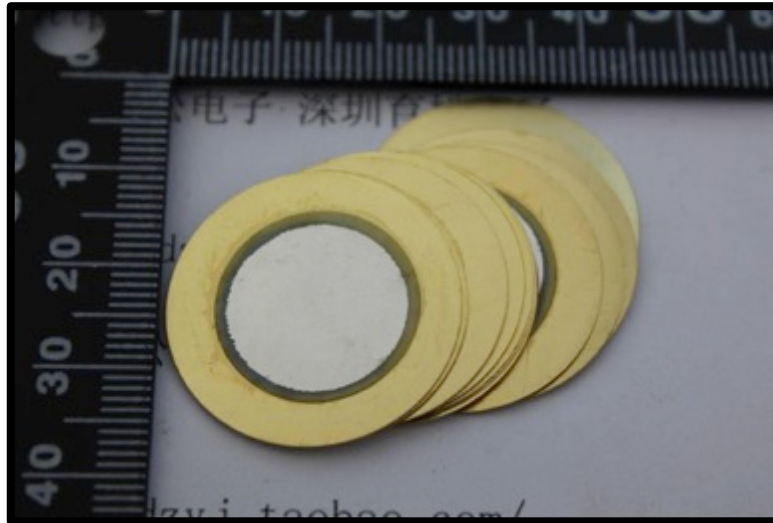


Figure 2: Eléments piézoélectrique

Pour ce projet, le budget n'est pas très élevé. Nous avons calculé très largement que le circuit d'un élément piézoélectrique nous reviendrait à 2 francs. Pour une dalle et ces composants piézoélectriques, nous avons estimé que nous dépenserions approximativement 25 francs. Il faut également ajouter le prix de la dalle.

En regard de ces projections, l'école a décidé de nous mettre à disposition un budget de 100 francs afin que nous puissions réaliser notre projet. Cette aide devrait nous permettre de couvrir nos frais. Nous avons quand même réfléchi à l'éventualité d'un dépassement de budget. Si cela devait arriver, nous avons décidé en groupe, de nous partager les frais supplémentaires.

Nous avons jusqu'au 26 mars pour rendre notre projet. Nous avons donc décidé de nous séparer les tâches selon nos capacités et nos points forts. Nous avons décidé d'un planning où chaque semaine nous faisons quelque chose de nouveau. Planning et réparation des tâches selon les points 3.1 et 3.2.

Le matériel qui est nécessaire à notre projet se trouve en partie à l'école, pour le reste nous passerons commande via l'école auprès de fournisseurs.

Notre projet se trouvant dans la catégorie « Innovation », il nous est demandé de calculer l'économie de kilowattheure en une année. Pour cela nous avons cherché un endroit où il y avait beaucoup de passage durant la journée. Afin de pouvoir avoir une vision assez

précise de la production qui serait possible, nous avons fait nos calculs en supposant poser ce sol sur la passerelle de notre école. C'est un endroit où tous les étudiants sont obligés de passer chaque jour pour aller dans sa salle de cours. Chaque étudiant passe plusieurs fois par jour à cet endroit.

3.1. Les étapes les plus importantes

Objectifs	Délai
Se renseigner sur la technologie utilisée	20 mars
Monter un prototype sur la plaque d'expérimentation	16 février
Mesures	16 février
Dimensionnement pour une dalle	20 février
Montage d'une dalle	23 février
Mesure et calculs pour une pièce	20 mars

3.2. Plan détaillé des tâches

Objectifs	Qui	Délai
Se renseigner sur la technologie utilisée	Groupe	6 mars
Monter un prototype sur la plaque d'expérimentation	Anaïs	16 février
Mesures	Anaïs	16 février
Dimensionnement pour une dalle, calculs superficie	Groupe	20 février
Soudure des composants pour la dalle	Anaïs	23 février
Montage d'une dalle	Groupe	13 mars
Mesures	Anaïs, Quentin	20 mars
Calculs pour une pièce	Groupe	20 mars

4. Mise en œuvre concrète

Les matériaux piézoélectriques produisent une tension électrique lorsqu'ils subissent une contrainte mécanique, par exemple lorsqu'ils sont en mouvement ou comprimés, ils peuvent aussi se déformer lorsqu'ils sont soumis à un courant électrique. La fréquence du signal électrique varie selon la déformation mécanique qu'il subit. Ces matériaux sont le plus souvent constitués de céramique et plus récemment de polymères, le plus connu est le quartz utilisé en horlogerie il permet d'entretenir les vibrations de base servant à la mesure du temps. Les matériaux piézoélectriques sont aussi utilisés pour amortir les vibrations et réduire le bruit, (ex entourer un axe rotatif pour réduire les vibrations) et également dans le domaine médical pour capter des ultrasons.



Figure 3: Energie piézoélectrique

Cette capacité à pouvoir délivrer un signal électrique quand on les frappe est encore utilisée dans d'autres domaines, par exemple musical pour les percussions. On peut également s'en servir comme microphone sur une caisse de résonance.

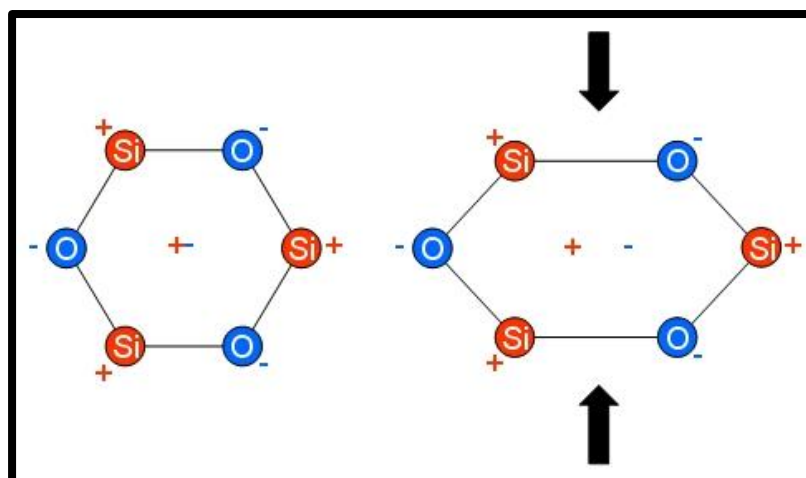


Figure 4: Élément piézoélectrique : modèle physico-chimique

Logiquement on peut supposer que l'énergie délivrée par un élément piézoélectrique ne sera pas très importante.

Pour voir le signal émis par l'élément quand on tape dessus, nous allons devoir utiliser un oscilloscope.

Lorsque l'on tape dessus l'élément, modérément, nous pouvons voir une amplitude de quelques volts : entre 1 et 5V.

Lorsque l'on tape un peu plus fort sur l'élément, nous avons mesuré une amplitude de 10V.

Parfois, en tapant plus fort sur l'élément, nous avons mesuré une amplitude de 15V.

Toutes ces mesures nous permettent de remarquer, qu'il s'agit là d'une onde sinusoïdale rapidement amortie (durée de quelques millisecondes).

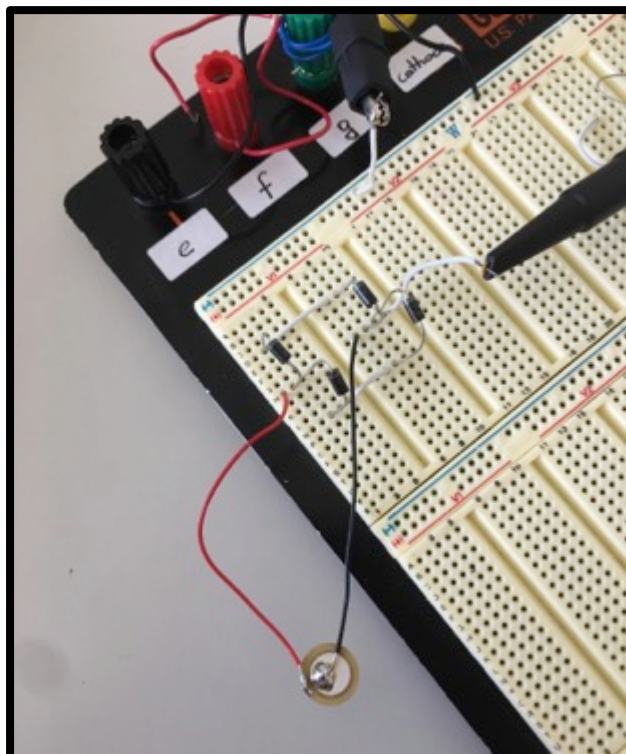


Figure 5: Montage sur la plaque d'expérimentation

Pour ce premier test nous avons utilisé des diodes 1N4007, avec 2 diodes en série, il nous fallait donc 1.4V pour que ces diodes conduisent.

Nous avons pu observer quelques inconvénients. Notamment, qu'un coup assez fort sur l'élément ne produisait pas toujours la même énergie. Un autre problème plutôt, mineur que nous avons rencontré, est qu'il fallait taper sur l'élément, seulement avec un doigt, ce qui peut devenir à force assez désagréable.

Après ces premières mesures, nous avons réfléchi à un moyen de stocker l'énergie, afin de pouvoir la réutiliser dans un deuxième temps. Pour cela, le condensateur nous a paru être une bonne solution. Afin de pouvoir commuter entre la charge et la décharge du condensateur, nous avons décidé d'utiliser un switch.

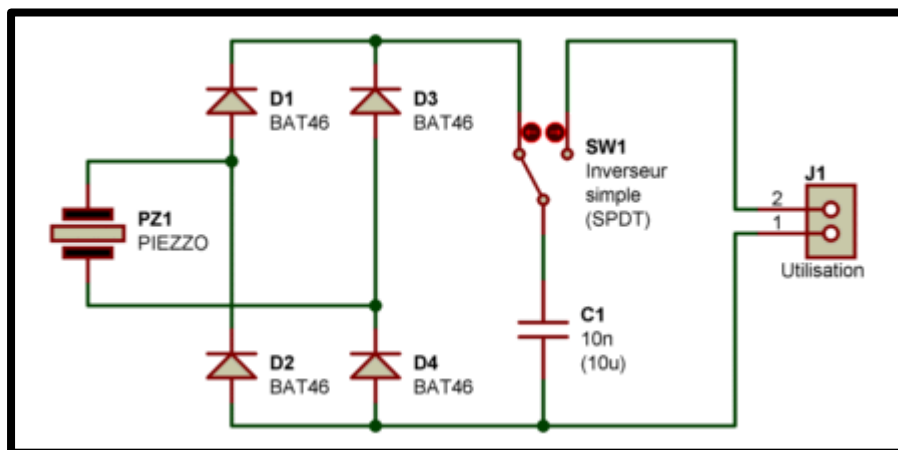


Figure 6: Schéma électrique de notre première idée

Pour la suite de notre projet nous nous sommes interrogés sur la nécessité d'avoir ou non les diodes, et s'il était possible de les remplacer par autres choses.

Nous avons réfléchi à plusieurs solutions :

- Premièrement de mettre une résistance de puissance en série avec une diode puis un condensateur.
- La seconde était de ne plus travailler qu'avec un élément piézoélectrique mais de le mettre en série et d'utiliser une diode pour un ou deux éléments piézoélectriques et, après tout cela un seul gros condensateur.

Lors de ces tests nous nous sommes rendu compte qu'il fallait passé pas mal de temps sur le dimensionnement. Nous avons donc décidé de pas passé commande tout de suite afin de ne pas occasionner des frais inutile et de commander des choses que nous n'utiliserons pas finalement. Pour faire ces premiers tests, nous avons eu la chance de trouver dans le stock (lista) de notre école tous les éléments nécessaire à nos premières phases de test. Ces différents éléments seront listés dans notre rapport.

Pour la dalle nous l'avons également trouvé à l'école. Nous avons pris un déchet de plaques en plexiglass. Nous avons choisi une épaisseur de 4mm afin d'avoir une assez grande solidité. Le plexiglass présentait deux avantages. Il est quand même assez souple, et il permet d'avoir une certaine souplesse et ainsi de rendre plus facilement les vibrations. Son deuxième avantage est d'être transparent, cela nous a plu car nous allions pouvoir voir et montrer plus facilement le système en dessous.

Pour construire la dalle nous avons décidé de prendre les résistances et les condensateurs dans le stock de l'école.

Pour le choix de l'élément piézoélectrique, nous l'avons porté sur celui de 12 mm à 9 kHz.

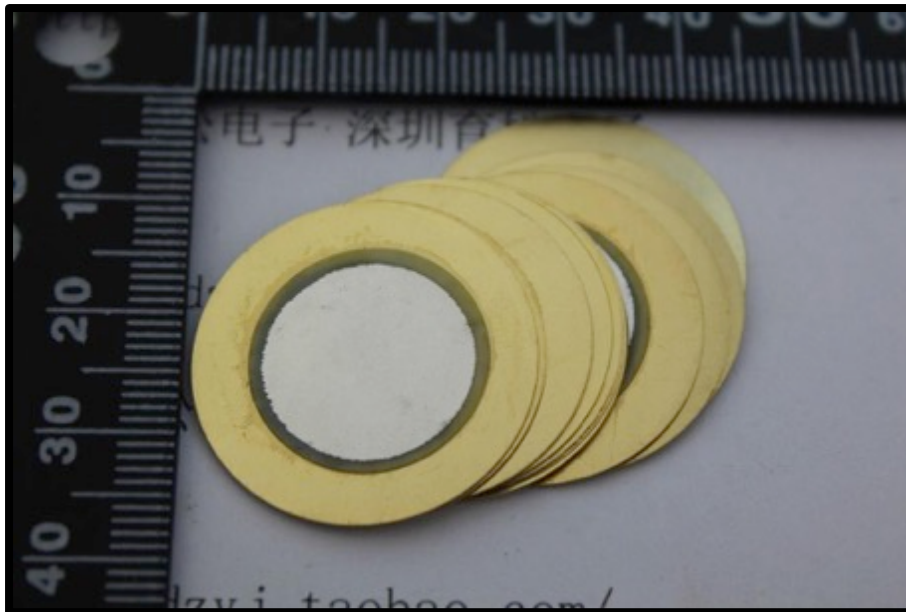


Figure 7: Eléments piézoélectrique

Nous avons fait ce choix en prenant en compte différents éléments.

- La fréquence que nous aimerions la plus grande possible.
- Nous avons faits plusieurs calculs afin de déterminer le nombre d'élément dont nous aurions besoin.

En raison de notre budget et d'un point de vue pratique nous avons dû revoir plusieurs choses. Nous avons donc décidé de condenser le plus d'élément possible dans 2 zones déterminées, où les pieds seront le plus souvent. Nous avons choisi cette configuration, car nous allons faire nos tests et mesures de façon ciblée donc cela ne sera pas dérangeant.

Lors de cette réflexion nous nous sommes heurtés à un problème de développement de notre projet, car si nous voulions remplir la totalité de notre plaque nous aurions besoin de souder plus de 350 éléments piézoélectriques.

Pour faire une première approximation, nous monté trois composants en série et trois autres en parallèles. Logiquement, nous savons que nous savons que le courant est plus grand en mettant les éléments en parallèles.

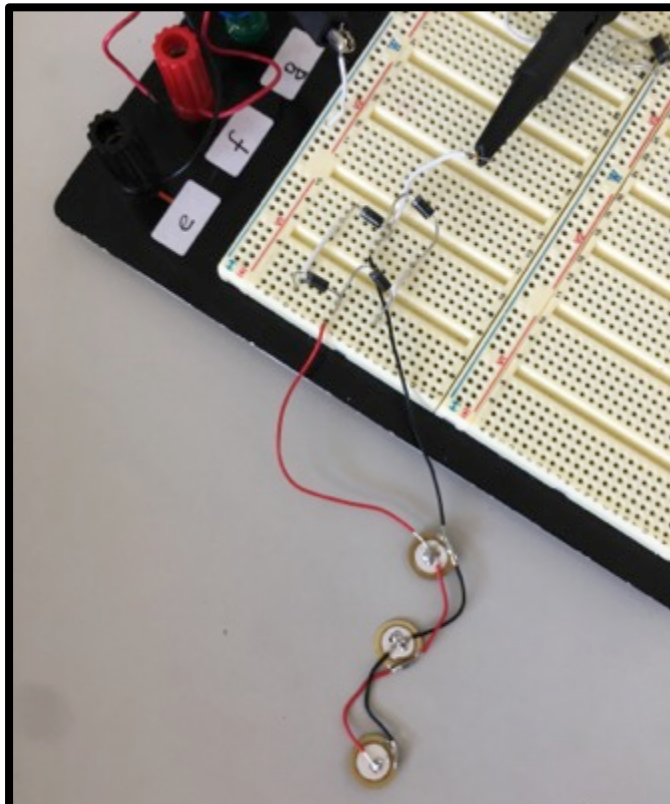


Figure 8 : 3 éléments piézoélectrique en série

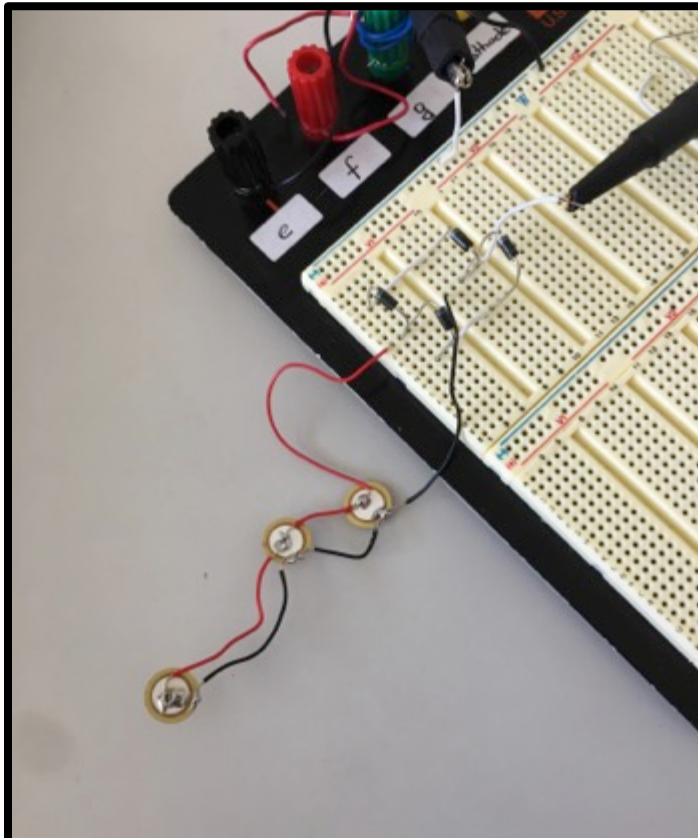


Figure 9 : 3 éléments piézoélectrique en série

Nous avons donc fait nos mesures avec les composants piézoélectriques en parallèles. Lors de ces mesures avec l'oscilloscope nous avons pu mesurer des très grandes tensions et avec le multimètre nous avons au contraire mesuré de très petites tensions.

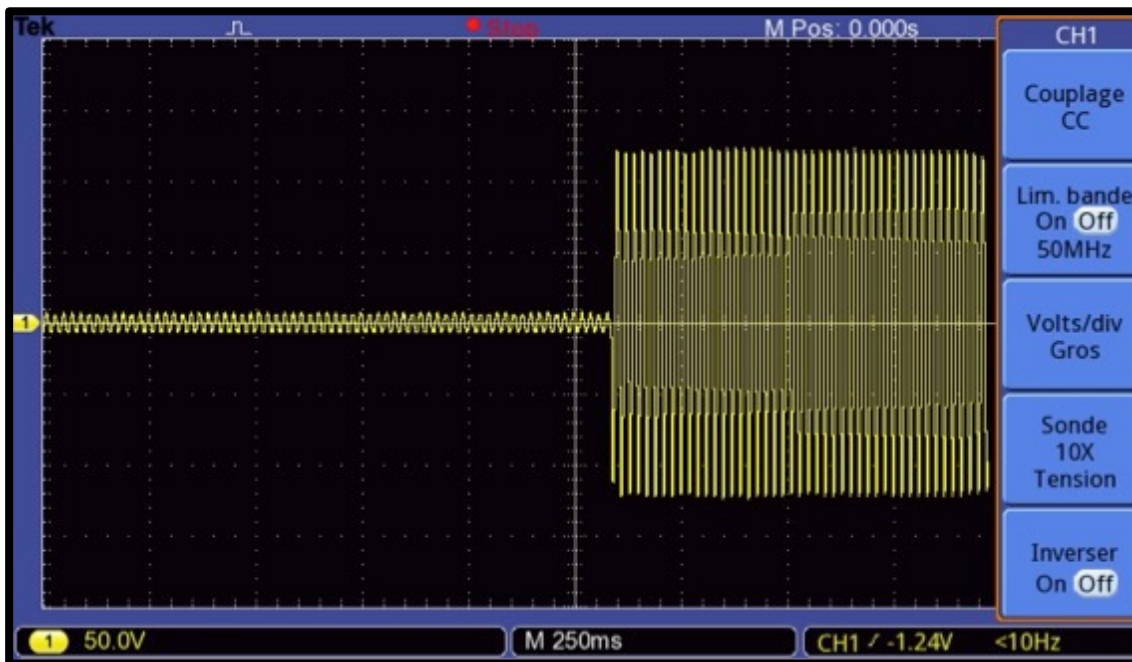


Figure 10 : Mesure de la tension en marchant

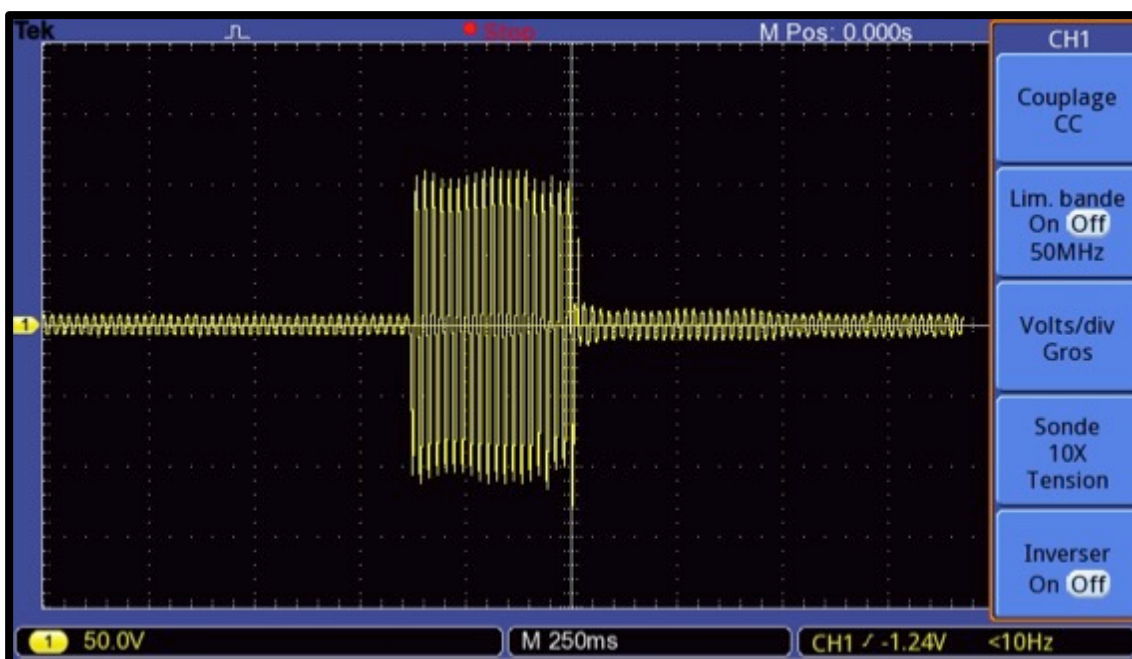


Figure 11 : Mesure de la tension en sautant

5. Calculs

Pour faire nos calculs nous avons pris des valeurs approximatives :

- Longueur du pied : 300 mm
- Largueur du pied : 120 mm
- Diamètre de l'élément piézoélectrique : 12 mm
- Surface définie pour un pied : $300 * 120 = 36000\text{ mm}^2$
- Surface définie pour les 2 pieds : $36000 * 2 = 72000\text{ mm}^2$

Nombre d'éléments piézoélectrique possible sur la longueur en laissant un espace de 3 mm entre chaque éléments :

$$\frac{300}{15} = 20$$

Nombre d'éléments piézoélectrique possible sur la largeur en laissant un espace de 3 mm entre chaque éléments :

$$\frac{120}{15} = 8$$

Nombre d'éléments piézoélectrique possible sur la surface d'un pied en laissant un espace de 5 mm entre chaque éléments :

$$20 * 8 = 160$$

Dimensions de la passerelle :

- Largueur : $2,5\text{ m} = 2500\text{ mm}$
- Longueur : $9\text{ m} = 9000\text{ mm}$

Surface passerelle :

$$2500 * 9000 = 22.5 * 10^6\text{ mm}^2 = 22,5\text{ m}^2$$

- Nombre de personne par jour passant sur la passerelle en moyenne par jour : 400

- Nombre de pas nécessaire pour traverser la passerelle : 12
- Nombre de jour de cours par année : 150
- Nombre de passage par jour sur la passerelle en moyenne par élève : 6
- Diamètre d'un élément piézoélectrique : 12 *mm*
- Rayon d'un élément piézoélectrique : 6 *mm*
- Espace entre chaque élément piézoélectrique : 5 *mm*

Surface élément piézoélectrique :

$$(6 + 5) * (6 + 5) = 121 \text{ mm}^2$$

Surface prise par les pieds pour une traversée :

$$12 * 36000 = 432 * 10^3 \text{ mm}^2$$

Surface sur laquelle on marche par année :

$$6 * 150 * 400 * 432 * 10^3 = 155,52 * 10^9 \text{ mm}^2$$

Nombre d'éléments piézoélectrique sur lesquels un pied se pose dessus par année :

$$\frac{155,52 * 10^9}{121} = 10.71 * 10^6$$

Lors de nos mesures à l'oscilloscope nous avons pu constater une production moyenne de 50 *V* pour un pas sur la dalle. Même si nous avons eu des pics bien plus hauts en courant ou sautant nous avons décidé de prendre cette valeur pour être le plus proche de la réalité possible.

Tension produite en un jour :

$$12 * 400 * 50 * 6 = 1.44 * 10^6 \text{ V/jour}$$

Tension produite en une semaine:

$$12 * 400 * 50 * 6 * 5 = 7.2 * 10^6 V/semaine$$

Tension produite en mois (4 semaines) :

$$12 * 400 * 50 * 6 * 20 = 28.8 * 10^6 V/mois$$

Production par année :

$$12 * 400 * 150 * 50 * 6 = 216 * 10^6 V/an$$

Lors des mesures au multimètre nous avons pu constater un courant très faible d'environ 0.03 mA pour un pas sur la dalle. Nous avons également, comme pour la tension, pris le courant lorsque l'on marche sur la dalle.

Production de courant pour un jour :

$$12 * 400 * 0.03 * 10^{-3} * 6 = 0.864 A/jour$$

Production de courant pour une semaine:

$$12 * 400 * 0.03 * 10^{-3} * 6 * 5 = 4.32 A/semaine$$

Production de courant par mois (4 semaines) :

$$12 * 400 * 0.03 * 10^{-3} * 6 * 20 = 17.28 A/mois$$

Production de courant par année :

$$12 * 400 * 150 * 0.03 * 10^{-3} * 6 = 129.6 A/an$$

- Prix élément piézoélectrique : 0.31 Frs

Prix pour les éléments piézoélectriques pour une passerelle :

$$10.71 * 10^6 * 0.31 = 3'320'100 Frs$$

Puissance produite sur la passerelle en une année :

$$P = U * I = 216 * 10^6 * 129.6 = 27.99 * 10^9 W$$

Nombre de kWh économisé en une année :

$$\frac{27.99 * 10^9 * 150 * 15 * 3600}{3'600'000} = 62.97 * 10^9 kWh/an$$

6. Rapport du projet

6.1. Rétrospective

Ce projet nous a permis de tester et de prendre consciences de plusieurs choses.

Notamment au niveau du travail de groupe; au début de notre projet, nous avons fait face à des difficultés, comme par exemple une personne qui ne fait pas ce qu'elle doit faire et donc met le groupe en retard. Nous nous sommes aussi heurté à des différences de niveau, il a donc fallu faire avec et exploiter les compétences de chacun au maximum.

Le projet nous a également permis de tester et d'essayer de construire quelque chose nous-même. Lors du développement nous avons aussi été confronté à des échéances données par le professeur et de devoir rendre un rapport chaque semaine en améliorant à chaque fois ce qui avait été demandé.

6.2. Prises de conscience

Ce projet nous a permis d'apprendre à travailler en groupe et de produire un rapport en parallèle de notre avancement au fur et à mesure des semaines. Cela nous a aussi permis de prendre conscience des difficultés du travail de groupe.

Ce travail nous a, également, permis de constater que les éléments piézoélectrique produisaient de très fortes tensions mais peu de courants.

6.3. Perspectives

Ce projet pourrait être utilisé dans plusieurs domaines. Lors de nos recherches nous avons découverts que plusieurs entreprises essayaient de développer cette technologie. Nous avons pu constater plusieurs choses :

- Cette technologie est très couteuse au vue de la complexité du développement des produits.
- Les entreprises font face à des problèmes de mise en place.

Au début de notre projet nous pensions pouvoir conclure que l'énergie produite pourrait être réinjectée dans le réseau, malheureusement nous avons pu constater, en faisant notre montage que les éléments piézoélectrique produisaient de très fortes tensions mais peu de courants. En cherchant des développements futurs, nous avons remarqué que les entreprises étaient également confrontées à ce problème. En effet, la production de courant étant trop faible pour pouvoir être réinjectée sur le réseau. Actuellement, l'énergie produite par la piézoélectricité est réutilisée à des fins ludiques pour, par exemple, allumer des LEDs d'ambiance.

Plusieurs projets sont actuellement en développement, voici quelques exemples que nous avons trouvés :

- Route
- Sol, dalle
- Voie ferrée
- Voie piétonne



Figure 12 : Dalle piézoélectrique

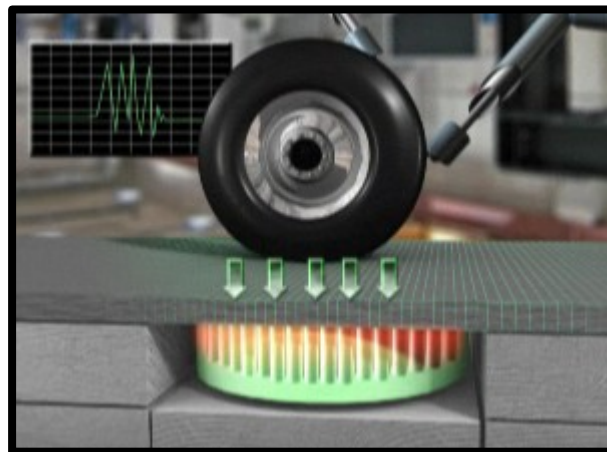


Figure 13 : Route piézoélectrique



Figure 14 : Sol piézoélectrique prototype qui allume des LEDs



Figure 15 : Sol piézoélectrique prototype qui allume des LEDs

- Entrée de métro :



Figure 16 : Entrée de métro avec un sol piézoélectrique

- Télécommande
- Moteur et actionneurs piézoélectriques
- Avion
- Musique
- Le vent et la piézoélectricité :



Figure 17 : Bâtiment utilisant la piézoélectricité pour produire de l'énergie grâce au vent

7. Définitions

Afin de permettre une meilleure lecture de notre journal de projet, nous avons défini quelques mots. Toutes les définitions sont tirées du Larousse.

7.1. Piézoélectricité

Phénomène que présentent certains cristaux qui acquièrent une polarisation électrique dans leur masse et des charges électriques à leur surface quand ils sont soumis à des contraintes mécaniques (effet direct) et qui se déforment sous l'action de forces internes quand ils sont soumis à un champ électrique (effet inverse).

7.2. Condensateur

Système de deux conducteurs ou armatures séparés par un milieu isolant.

7.3. Diode

- Tube électronique à deux électrodes (cathode et anode) utilisé comme redresseur de courant.
- Dispositif redresseur à semi-conducteur constitué d'une jonction P-N.

8. Bibliographie

Eco-Energie ("sans année"). Agora Energy. Disponible sous : <http://www.eco-energie.ch/cms2/index.php/news/96-agera-energy> [Consulté : le 16.02.2017]

Vibrations/ Piézoélectrique ("sans année"). Description. Disponible sous : <http://www.interface-z.fr/pronfiture/contact/152-vibrations-piezoelectrique.html> [Consulté : le 16.02.2017]

Polytech.Mons ("sans année"). Moteur et actionneurs piézoélectriques. Disponible sous : http://www.geniemeca.fpms.ac.be/Recherche/recherche_piezoelectrique.htm [Consulté : le 16.02.2017]

Piézoélectrique ("sans année"). Energie piézoélectrique : électricité par pression. Disponible sous : <http://www.piezoelectrique.com/> [Consulté : le 16.02.2017]

Asrc ("sans année"). L'effet piézoélectrique. Disponible sous : <http://www.asrc.fr/fr/leffet-piezoelectrique/> [Consulté : le 16.02.2017]

Cordis ("sans année"). Les ailes déformables dessinent l'avenir de l'aéronautique. Disponible sous : http://cordis.europa.eu/result/rcn/182845_fr.html [Consulté : le 16.02.2017]

EDF pulse ("sans année"). Produire de l'énergie grâce à la musique. Disponible sous : <https://pulse.edf.com/fr/produire-de-lenergie-grace-la-musique> [Consulté : le 16.02.2017]

Overblog ("24 avril 2014"). La route piézoélectrique. Disponible sous : <http://verslarouteparfaite.over-blog.com/2014/04/la-route-piezoelectrique.html> [Consulté : le 16.02.2017]

CleanTech Republic ("sans année"). Une dalle lumineuse qui capte l'énergie des passants. Disponible sous : <http://www.cleantechrepublic.com/2010/02/15/dalle-lumineuse-energie-passants/> [Consulté : le 16.02.2017]

Distrelec ("sans année"). Eléments piézoélectriques. Disponible sous :

<https://www.distrelec.ch/fr/element-piezo-electrique-murata-7bb-12/p/13787017?q=element+pi%C3%A9zo&page=7&origPos=7&origPageSize=50&simi=96.08> [Consulté : le 23.02.2017]

Larousse ("sans année"). Définitions. Disponible sous :

<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais> [Consulté : le 23.02.2017]

Annexes

Site utiles avec de bonnes explications :

- http://www.energieklimawerkstatt.ch/fileadmin/projects/2010/bobst3/Bobst_PiezoElectrique.pdf
- <http://www.piezoelectrique.com/page2>
- <http://www.transition-verte.com/les-folles-sources-denergie-la-piezoelectricite/>
- <http://www.schema-electronique.net/2010/03/un-detecteur-de-vibrations.html>
- https://www.sonelec-musique.com/electronique_bases_piezo_meca_elec.html
- <https://seminairematériaux.files.wordpress.com/2016/01/etude-de-leffetpic3a9zoc3a9lectrique.pdf>

Entreprise travaillant au développement de la piézoélectricité:

- <http://www.sens2b-capteurs.com/annuaire/technologie-de-capteurs-principes-de-mesure/piezoelectrique>