

DOSSIER TPE — 1^{ES}2

ANNÉE 2013 — 2014

ANTHONY CLOCHARD - THIBAUD LAUNAY - YANN QUENTEL



MARS 2014

PROBLEMATIQUE :

PEUT-ON, GRÂCE À L'EFFET SEEBECK
ET LA CHALEUR HUMAINE, PRODUIRE
SUFFISAMMENT D'ÉNERGIE POUR
ALIMENTER UNE LED ?

TABLE DES MATIÈRES

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES COMME SUPPORT DE RECHERCHE (INTRODUCTION)	4
1 : LES MODULES THERMOÉLECTRIQUES À EFFETS PELTIER ET SEEBECK	7
A- L'effet Peltier	7
B- L'effet Seebeck	7
C- Les modules thermoélectriques à effet Peltier	8
2 : FONCTIONNEMENT DU LTC3108 ET ESSAIS	11
A- Le LTC3108	11
B- Notre premier montage	12
C- Notre montage final	14
3 : RÉSULTATS ET ANALYSES	19
A- Nos résultats et les problèmes rencontrés sur notre montage final	19
B- Les améliorations possibles	20
CONCLUSION	21
RÉFÉRENCES	22

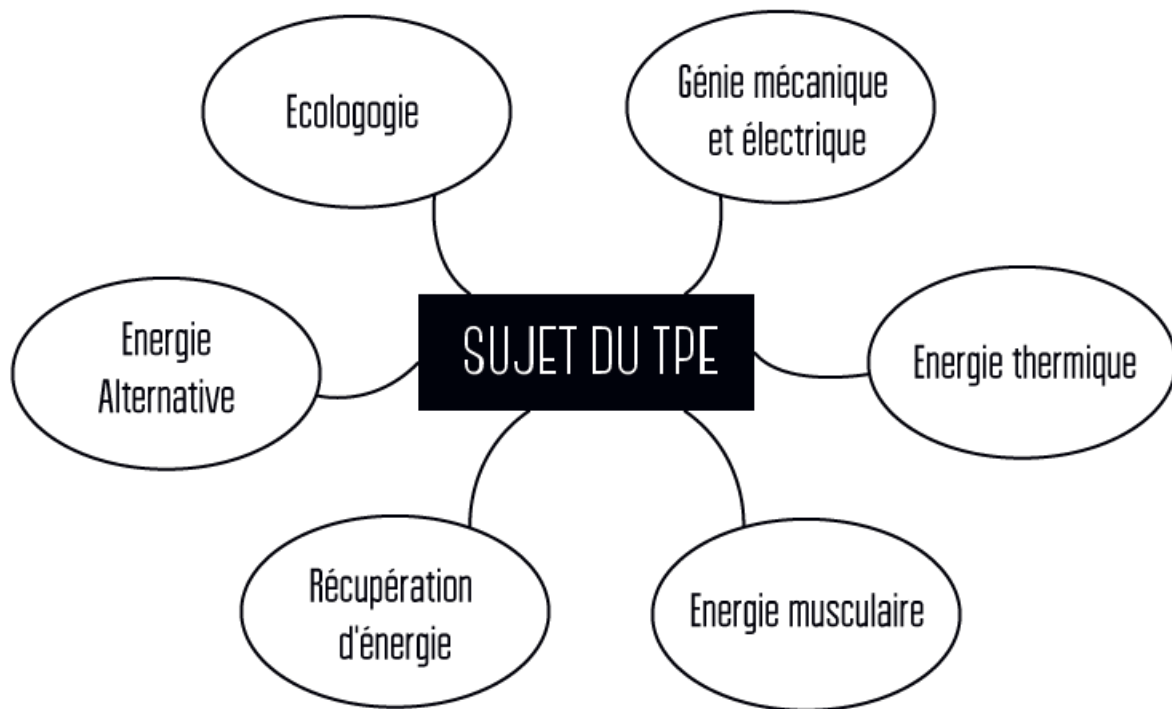
“Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme”

- Lavoisier -

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES COMME SUPPORT DE RECHERCHE (INTRODUCTION)

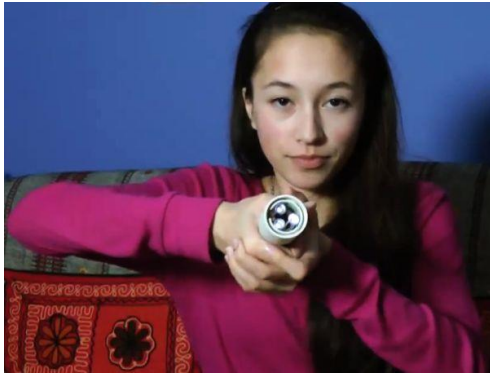
L'énergie a toujours constitué un enjeu vital pour l'homme et les sociétés humaines. Les comportements humains ont été et sont toujours fortement guidés par sa disponibilité et son coût. Traditionnellement, les hommes vivaient en utilisant des énergies renouvelables (traction animale, bois, vent, eau, « chaleur » de la terre ...). Ce n'est qu'au XVIII^e siècle que l'on commence à utiliser les énergies fossiles : le charbon puis le pétrole à partir de 1859. Aujourd'hui encore, plus de 80% de la consommation mondiale d'énergie vient des énergies fossiles. Elles sont réparties entre le pétrole (35 %) le charbon (25%) et le gaz (20%). Les 20% restant correspondent à l'hydro-électricité, au bois, au nucléaire et aux énergies renouvelables. Les différents chocs pétroliers ont permis aux hommes de se rendre compte de notre dépendance aux énergies fossiles. Il y a eu aussi prise de conscience de l'impact négatif de ces énergies sur notre environnement. Nos sociétés contemporaines commencent à comprendre qu'il va falloir changer (radicalement ?) nos moyens de production d'énergie pour qu'elles aient moins d'impact négatif. C'est même devenu une question politique et cette prise de conscience collective nous oblige à chercher des énergies alternatives, car les hydrocarbures, charbon et gaz naturel ne sont pas, on le sait, en quantité infinie. En effet, d'après les prévisions des spécialistes, si nous continuons à consommer comme nous le faisons aujourd'hui, nous serons à court de ces énergies en 2050 voire 2070-2075 pour les plus optimistes.

Pour notre sujet de TPE, nous nous sommes intéressés aux énergies que pouvait produire le corps : l'énergie musculaire et l'énergie thermique. L'homme utilise l'énergie musculaire quotidiennement, à chaque instant : marcher, courir, pédaler, utiliser et manipuler des objets... Il existe d'ailleurs des systèmes évolués et aboutis utilisant l'énergie musculaire de l'homme pour générer de l'électricité : les systèmes de lampes dynamo, les pistes de danse des boîtes de nuit récupératrices d'énergie, ou encore la récupération d'énergie à chacun de nos pas grâce à un capteur d'énergie bionique. Notre première idée de TPE a été de tenter de récupérer cette énergie à l'aide d'un tapis de course. Cependant, concernant l'énergie thermique produite par l'homme, nous avons été surpris de constater qu'il n'existe aucun système physique courant qui permette de récupérer cette énergie. L'homme a une chaleur moyenne de 37,5°C et il produit environ 97 W en permanence. Vouloir utiliser cette énergie produite par notre corps est tentant. Nous nous lançons donc sur la recherche de récupération de cette énergie.



MINDMAP DE RECHERCHE DE NOTRE SUJET DE TPE

La firme internationale Google organise chaque année un concours scientifique appelé Google Science Fair. Il récompense les meilleurs élèves de 13 à 18 ans ayant un projet abouti et innovant. Nous avons pu découvrir que notre idée de récupération d'énergie thermique humaine était à l'origine de l'invention de la gagnante de la catégorie 15-16 ans du concours de 2013. Ann Makosinski, une Canadienne âgée de 16 ans, a créé une lampe de poche alimentée par la chaleur humaine. Son hypothèse de départ était que, si elle pouvait capturer suffisamment de chaleur à partir d'une main, puis la convertir efficacement en électricité, alors elle pourrait alimenter une lampe de poche sans pile. Chaque année, plus d'un milliard de piles sont utilisées en France (soit 27 000 tonnes) et seulement 9 000 tonnes sont récupérées et recyclées, soit plus de 16 000 tonnes de piles dont les matériaux tels que le plomb, zinc, nickel et mercure (métaux toxiques) polluent l'environnement.



Google
Science
Fair 2013

ANN MAKOSINSKI, GAGNANTE DU CONCOURS GOOGLE GRACE A SA LAMPE A EFFET SEEBECK

Notre corps produit en moyenne 100 W. Nous aimerions donc savoir quelle quantité d'énergie est produite par la chaleur de notre main. Notre corps a une surface moyenne de peau de 17 000 cm² ce qui donne une énergie par centimètre carré de 5,9 mW ($E(w/cm^2) = 100 / 17000 = 0,0059$, soit 5,9 mW/cm²). On peut considérer que 25 cm² de la surface de notre paume de main produirait environ 147,5 mW ($E(main) = 5,9 \times 25 = 147,5$ mW).

Son invention nous a intrigués : produisons-nous autant d'énergie que cela pour permettre de faire fonctionner une lampe de poche ? Comment récupérer toute cette énergie venant de notre corps ? Comment la convertir pour alimenter une LED ?

Son projet ne comportait que peu d'information : elle ne donnait aucune explication sur le fonctionnement de son système ainsi qu'aucun schéma de son prototype de lampe de poche. Heureusement, elle donnait dans son dossier tous les composants utilisés : des modules thermoélectriques, un LTC3108, un transformateur 1:100, des condensateurs ainsi que des LED.

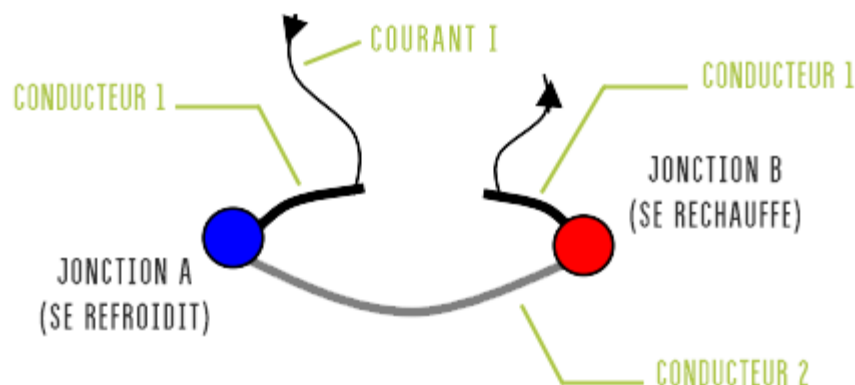
Nous avons donc décidé, à partir de ces quelques explications, de créer nous-mêmes notre prototype pour essayer de répondre à toutes ces questions. Il nous faut donc faire des recherches et des essais sur :

- Les modules thermoélectriques à effets Peltier et Seebeck.
- Le fonctionnement du LTC3108 pour arriver à alimenter une LED.

I : LES MODULES THERMOÉLECTRIQUES À EFFETS PELTIER ET SEEBECK

A- L'effet Peltier

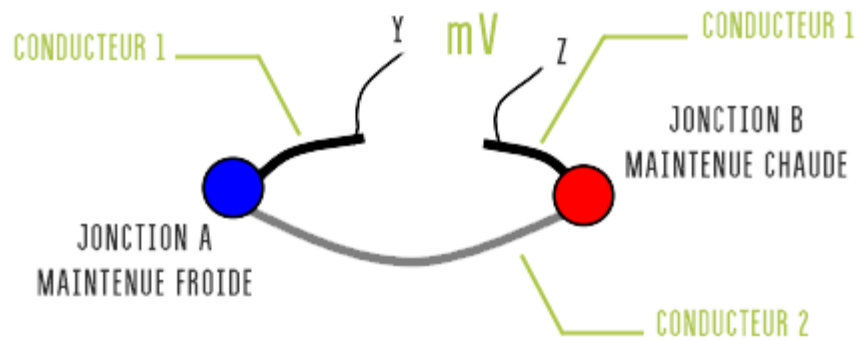
L'effet Peltier, ou effet thermoélectrique, découvert en 1834 par le physicien français Jean-Charles Peltier, induit un déplacement de chaleur en présence d'un courant électrique à la jonction de deux matériaux différents. En effet, lorsqu'un courant électrique passe à travers la jonction reliant deux conducteurs, on observe un dégagement de chaleur ou une absorption de chaleur selon le sens du courant. La figure suivante montre le circuit thermoélectrique de base. La jonction A refroidit, pendant que B se réchauffe lorsque les conducteurs sont parcourus par un courant I .



PRINCIPE DE L'EFFET PELTIER

B- L'effet Seebeck

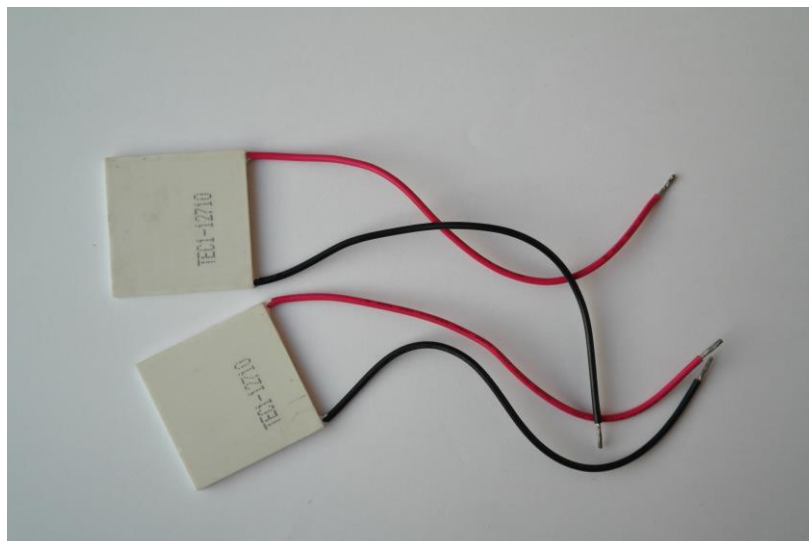
En 1821, Thomas Johann Seebeck, physicien allemand découvre une autre façon de produire de l'électricité. Avec les mêmes matériaux que l'effet Peltier, on peut voir apparaître une différence de potentiel entre Y et Z quand les jonctions A et B des deux matériaux sont soumises à une différence de températures. C'est le phénomène inverse de l'effet Peltier.



PRINCIPE DE L'EFFET SEEBECK

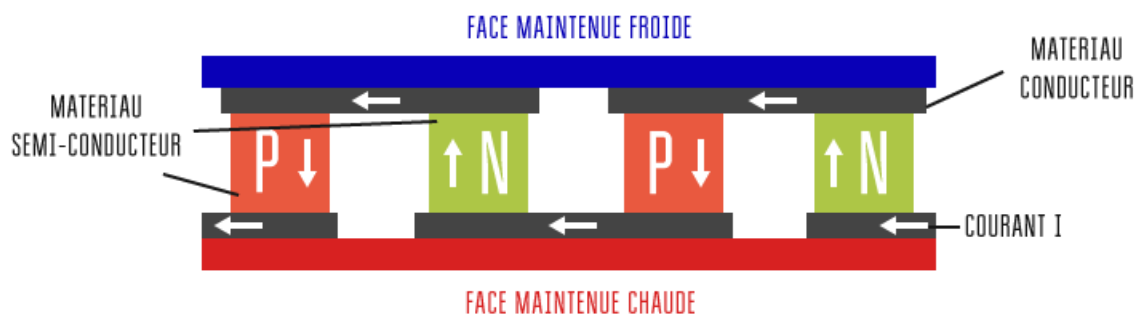
Il est utilisé principalement pour la mesure de températures avec les thermocouples (couples de matériaux différents pour mesurer la température par effet Seebeck). Chaque matériau possède un coefficient Seebeck (ou pouvoir thermoélectrique) qui lui est propre. Selon les matériaux, l'étendue [écart entre minimum et maximum] des températures mesurées peut être de 600°C à 2 600°C, incluant des températures négatives. L'effet Seebeck est également à la base de la génération d'électricité par effet thermoélectrique mais le rendement obtenu est très faible.

C- Les modules thermoélectriques à effet Peltier



MODULES THERMOELECTRIQUES

Il existe des modules thermoélectriques appelés plus couramment plaques Peltier. Ces plaques sont utilisables avec les deux effets [Peltier et Seebeck]. Elles permettent selon leur utilisation, soit de créer une différence de température entre les deux faces, soit de générer un courant électrique. Nous en avons acheté quatre (disponibles sur Amazon). Nous allons nous intéresser à la production d'électricité générée par ces plaques.



FONCTIONNEMENT DU MODULE THERMOELECTRIQUE AVEC L'EFFET SEEBECK

Les modules thermoélectriques sont constitués de pavés semi-conducteurs de type *n* (pour "négatif" : un atome ayant un grand nombre d'électrons est introduit au sein du semi-conducteur de façon à ce qu'il y ait un surplus) et *p* (pour "positif" : on introduit dans le semi-conducteur un atome ayant très peu d'électrons, ce qui crée un "trou"). Ces pavés sont reliés en série par un matériau conducteur placé entre deux semelles d'échange thermique en céramique (les deux faces). Si on maintient une face froide et une face chaude, cela crée une tension aux bornes de la plaque. En effet, la variation de température dans les métaux de la plaque provoque une agitation des électrons qui deviennent mobiles. Ils se déplacent des matériaux *n* vers *p*, ce qui génère un courant électrique.

Nos plaques ont pour dimensions 40 x 40 mm (et 3,3 mm d'épaisseur). Elles sont en Bismuth (Bi) et Étain (Sn), mais la couche externe, visible, est quant à elle isolante électriquement, c'est une céramique, de l'alumine (Al₂O₃).

Nous réalisons un test pour connaître la production de ces modules thermoélectriques. Nous plaçons une face de la plaque sur un radiateur [face chaude], et avons refroidi l'autre face [face froide] pour avoir un delta de température important [32°C] entre les deux faces. Puis nous mesurons grâce à un voltmètre et un ampèremètre l'énergie produite par la plaque. Dans un premier temps, nous faisons le test avec un seul module puis deux en série et enfin deux en parallèle.

Voici nos résultats :

Nombre de plaques	Positionnement	mV	mA	T°max	T°min	Delta T°
1	seul	180	50	44	12	32
2 en série	côte à côte	360	50	44	12	32
2 en série	l'une sur l'autre	360	50	44	12	32
2 en parallèle	côte à côte	180	50	44	12	32
2 en parallèle	l'une sur l'autre	180	50	44	12	32

*TABLEAU RECAPITULANT NOS RESULTATS DE NOTRE TEST DES MODULES
THERMOELECTRIQUES*

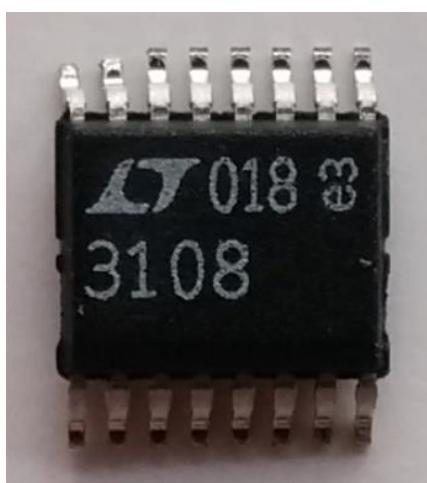
On peut donc remarquer qu'avec un même delta de température, deux plaques en série doublent la production [seulement la tension] alors qu'avec deux plaques en parallèle, la production est identique à celle obtenue avec une seule plaque.

Au cas où nous aurions besoin de plusieurs modules, ils seront installés en série dans notre maquette.

2 : FONCTIONNEMENT DU LTC3108 ET ESSAIS

A- Le LTC3108

Nous avons découvert qu'Ann Makosinski a utilisé une puce nommée LTC3108. Le LTC3108 est un produit de Linear Technologie. Cette entreprise internationale développe, fabrique et commercialise des puces électroniques. C'est un convertisseur DC/DC élévateur, le premier modèle d'une série de circuits pour les applications de récupération d'énergie lancée [par Linear Technology] en 2009. Cela permet d'augmenter la tension d'une source continue.

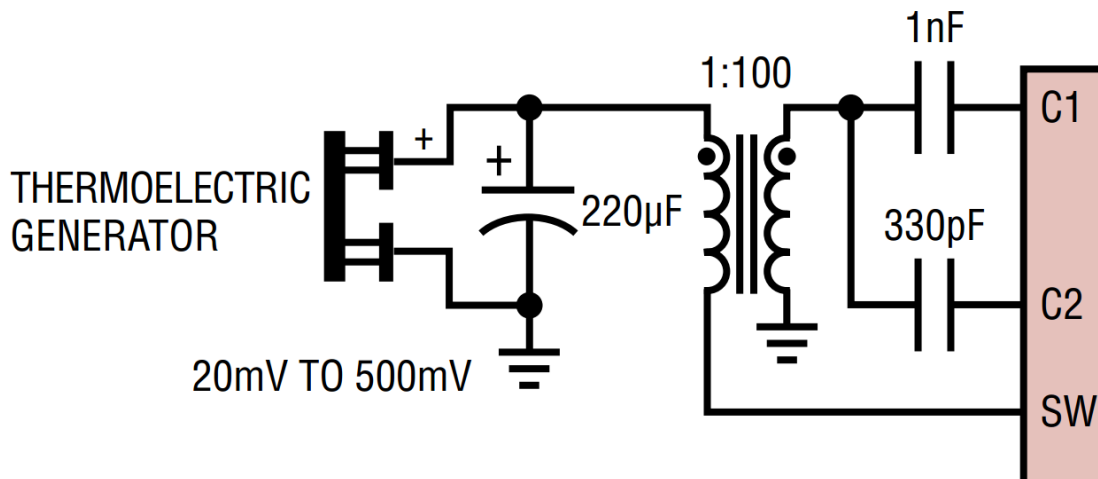


LTC3108 DE LINEAR TECHNOLOGY

C'est la puce idéale pour notre circuit car elle permet la récupération et la gestion de l'énergie à très basse tension d'entrée. La documentation du constructeur nous indique que ce système récupérateur d'énergie est conçu pour démarrer et fonctionner à partir d'alimentations comme les générateurs thermoélectriques (TEG), les thermopiles et les petits capteurs solaires. Nous utilisons les générateurs thermoélectriques, autrement dit nos cellules à effet peltier, comme générateur.

Cette utilisation de modules thermoélectriques permet de démarrer à une tension très basse, ce qui est idéal pour nous car il est possible d'avoisiner les 200 mV en sortie de nos modules thermoélectriques grâce à la chaleur de la main.

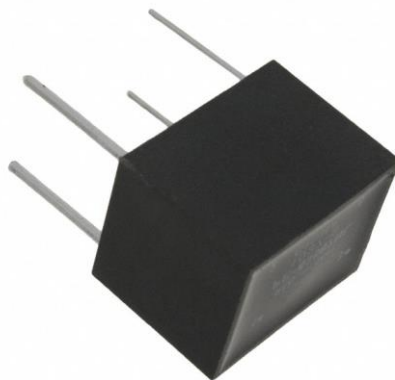
Nous avons donc acheté le LTC3108 et, en attendant de le recevoir, nous nous sommes mis à la recherche des autres composants. Chaque schéma exemple du site du constructeur Linear possédait un transformateur 1:100 en entrée du LTC3108 pour élever la tension. Un transformateur est un système de conversion qui permet de modifier la tension et l'intensité d'un courant électrique alternatif en un courant électrique de tension et d'intensité différentes.



SCHEMA EXEMPLE DU SITE LINEAR (ENTREE)

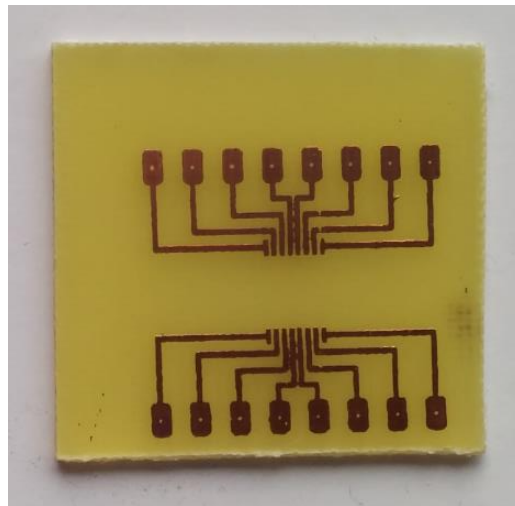
Nous avons donc commencé par rechercher un transformateur 1:100 dans le matériel disponible au lycée. Nous n'en avons pas trouvé et alors notre recherche s'est orientée vers une combinaison de 2 transformateurs pour obtenir un transformateur équivalent de rapport 1:100. Nous avons à notre disposition 2 transformateurs abaisseurs de tension. Cependant, c'est un transformateur élévateur de tension dont nous avons besoin. Nous choisissons donc d'inverser le sens du transformateur pour nos branchements de test. Pour cela, nous avons donc utilisé un G.B.F., un générateur de basse fréquence, réglé par le professeur. Il permet de délivrer un signal avec la fréquence désirée sous forme de sinusoïdes, de crêteaux, ou de triangles. Ce signal est observé grâce à un oscilloscope. Mais nous avons été étonnés de ne pas obtenir le rapport attendu, un rapport de 100. Nous avons finalement acheté un transformateur 1:100 pour nous permettre d'avancer dans notre montage.

B- Notre premier montage



TRANSFORMATEUR 1:100

Nous disposons donc maintenant du LTC3108 et d'un transformateur 1:100. Le circuit intégré est en CMS, c'est une technique développée dans les années 1960. Cette technique de Composant Monté en Surface (CMS) permet au composant d'être brasé directement à la surface du circuit imprimé. Étant donné la petite taille de ce composant (4 mm sur 5 mm) et le nombre de broches (8 de chaque côté), nous utilisons ARES (logiciel de la suite Proteus dédié à la création de circuits imprimés) pour imprimer le circuit qui accueillera le LTC3108. Ce circuit est réalisé par la suite par un professeur du lycée.

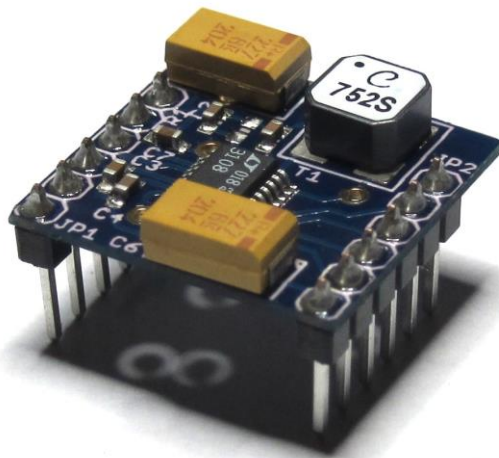


CIRCUIT IMPRIME REALISE GRACE A ARES

Ensuite, nous câblons le composant CMS. La première étape est le dépôt d'alliage. Cela consiste à déposer un mélange appelé pâte à braser, conditionné en seringue, sur les plages d'accueil de chaque broche sur le circuit imprimé. On envoie de l'air comprimé dans un piston pour faire sortir un petit volume de pâte. Le composant est ensuite déposé délicatement sur les emplacements prévus sur le circuit imprimé avec les petits volumes d'alliage. L'utilisation d'une loupe est obligatoire tout le long du processus car le composant est vraiment minuscule. Nous réalisons toutes les étapes manuellement. L'étape suivante est appelée la refusion. Cela consiste à placer le circuit imprimé avec le composant et la pâte dans un four à refusion afin de faire fondre l'alliage pour réaliser le joint de soudure. Pour notre premier essai, 5 broches n'étaient pas reliées à la piste du circuit imprimé. Nous recommençons, cette fois avec succès. Mais nous rencontrons des problèmes lors de l'étape suivante : le branchement des fils sur les pistes dans le but d'utiliser le composant LTC3108 sur une plaque d'essai. Nous devons recommencer plusieurs fois. De plus, le composant a peut-être grillé pendant le processus de soudage avec le fer à souder des fils de liaisons. Nous avons décidé de continuer et faisons un test avec un montage simple : le module thermoélectrique, le transformateur et le circuit intégré. Le but est de voir si le montage fonctionne : cela semble être le cas, mais la tension de sortie paraît être proche de celle d'entrée, 200 mV alors que nous comptons avoir au moins 2 V en sortie. Nous comprenons par la suite notre erreur sur ce montage : les exemples de Linear indiquaient des branchements avec des condensateurs entre plusieurs broches du composant. Mais nous n'avons pas tous les condensateurs nécessaires. Les condensateurs sont des accumulateurs de charges électriques

qui permettent, si on déconnecte la source d'énergie, de retenir la charge et la tension pendant une durée relativement courte. Le LTC3108 nécessite plusieurs composants externes pour son fonctionnement, en majorité des condensateurs. Nous savons que notre soudage n'est pas parfait, que le composant n'est peut-être pas fonctionnel et que nous n'avons pas tous les condensateurs : nous pensons donc à chercher une autre solution pour alimenter une LED grâce la chaleur humaine.

C- Notre montage final



L'ENERGY HARVESTER BREAKOUT

La solution aux problèmes du premier essai est trouvée dans un produit fabriqué seulement par deux américains "amateurs", appelé Energy Harvester Breakout. Nous contactons l'une de ces personnes pour avoir plus de détails sur son produit. Il a fabriqué un circuit imprimé sur lequel il a branché le LTC3108, le transformateur et tous les condensateurs d'entrée comme ceux de sortie. Nous n'aurions plus qu'à brancher notre module thermoélectrique en entrée et une LED en sortie. Ce n'est pas aussi simple que cela car le LTC3108 a plusieurs modes de fonctionnement et des branchements entre plusieurs sorties. Avec l'aide de la documentation du LTC3108 de Linear (les fonctions de chaque broche) et le schéma de l'Energy Harvester Breakout, nous devrions réussir les branchements. Nous le commandons donc. Il nous reste à ce stade la recherche de la LED et de la résistance.

(DFN/SSOP)

VAUX (Pin 1/Pin 2): Output of the Internal Rectifier Circuit and V_{CC} for the IC. Bypass VAUX with at least $1\mu F$ of capacitance. An active shunt regulator clamps VAUX to 5.25V (typical).

VSTORE (Pin 2/Pin 3): Output for the Storage Capacitor or Battery. A large capacitor may be connected from this pin to GND for powering the system in the event the input voltage is lost. It will be charged up to the maximum VAUX clamp voltage. If not used, this pin should be left open or tied to VAUX.

V_{OUT} (Pin 3/Pin 4): Main Output of the Converter. The voltage at this pin is regulated to the voltage selected by VS1 and VS2 (see Table 1). Connect this pin to an energy storage capacitor or to a rechargeable battery.

V_{OUT2} (Pin 4/Pin 5): Switched Output of the Converter. Connect this pin to a switched load. This output is open until V_{OUT2_EN} is driven high, then it is connected to V_{OUT} through a 1.3Ω P-channel switch. If not used, this pin should be left open or tied to V_{OUT}. The peak current in this output is limited to 0.3A typical.

VLDO (Pin 5/Pin 6): Output of the 2.2V LDO. Connect a 2.2µF or larger ceramic capacitor from this pin to GND. If not used, this pin should be tied to VAUX.

PGD (Pin 6/Pin 7): Power Good Output. When V_{OUT} is within 7.5% of its programmed value, PGD will be pulled up to VLDO through a 1M Ω resistor. If V_{OUT} drops 9% below its programmed value PGD will go low. This pin can sink up to 100 μ A.

VS2 (Pin 7/Pin 10): V_{OUT} Select Pin 2. Connect this pin to ground or VAUX to program the output voltage (see Table 1).

VS1 (Pin 8/Pin 11): V_{OUT} Select Pin 1. Connect this pin to ground or VAUX to program the output voltage (see Table 1).

V_{OUT2_EN} (Pin 9/Pin 12): Enable Input for V_{OUT2}. V_{OUT2} will be enabled when this pin is driven high. There is an internal 5M pull-down resistor on this pin. If not used, this pin can be left open or grounded.

C1 (Pin 10/Pin 13): Input to the Charge Pump and Rectifier Circuit. Connect a capacitor from this pin to the secondary winding of the step-up transformer.

C2 (Pin 11/Pin 14): Input to the N-Channel Gate Drive Circuit. Connect a capacitor from this pin to the secondary winding of the step-up transformer.

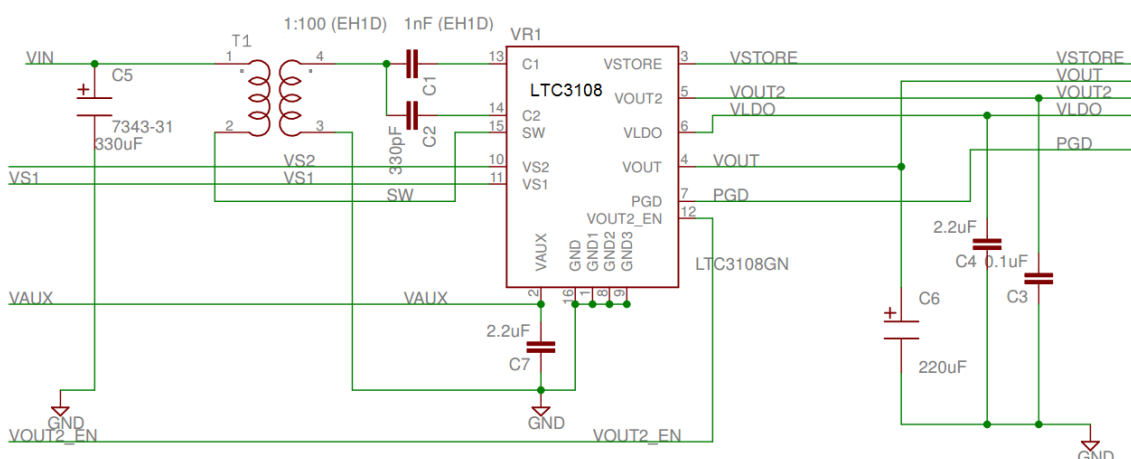
SW (Pin 12/Pin 15): Drain of the Internal N-Channel Switch. Connect this pin to the primary winding of the transformer.

GND (Pins 1, 8, 9, 16) SSOP Only: Ground

GND (Exposed Pad Pin 13) DFN Only: Ground. The DFN exposed pad must be soldered to the PCB ground plane. It serves as the ground connection, and as a means of conducting heat away from the die.

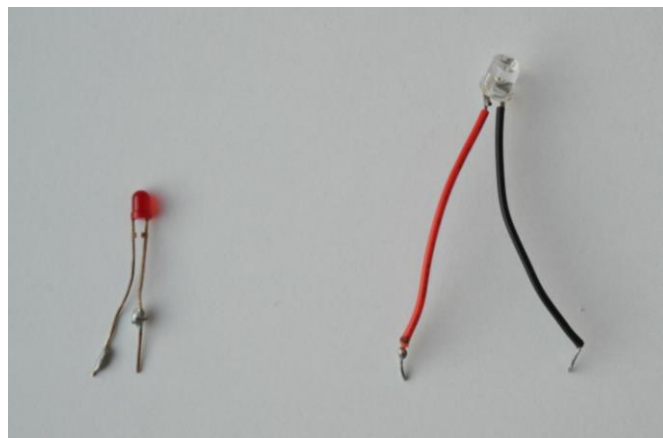
Table 1. Regulated Voltage Using Pins VS1 and VS2

V _{S2}	V _{S1}	V _{OUT}
GND	GND	2.35V
GND	VAUX	3.3V
VAUX	GND	4.1V
VAUX	VAUX	5V



SCHEMA DE L'ENERGY HARVESTER BREAKOUT

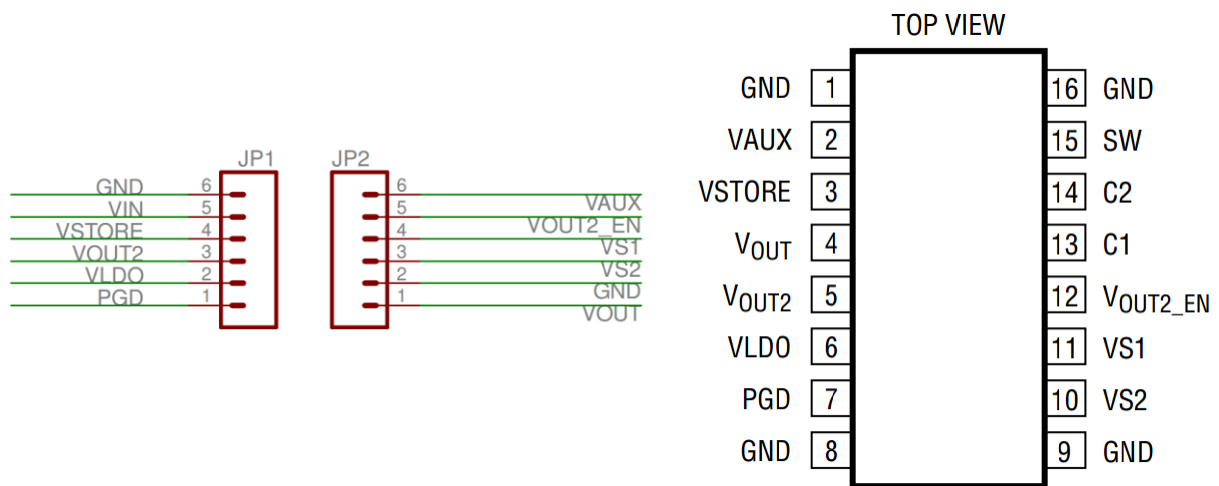
Le père d'Anthony nous fournit une LED faible courant. Il sait qu'elle fonctionne avec un courant beaucoup plus faible qu'une LED normale, mais nous n'avons aucune référence pour connaître les valeurs de tension et de courant I de la LED. Pour le vérifier et la comparer à une LED normale, nous faisons le test avec une batterie. Notre montage est composé de la batterie (tension de sortie de 7,8 V), des deux LED que nous souhaitons comparer et d'une résistance qui va progressivement augmenter. Notre but bien sûr est de confirmer que la LED faible courant s'allume à partir d'un courant I plus faible que pour l'autre et de comparer leur luminosité à différents courants I . On ne connaît pas le courant en sortie du circuit imprimé. Par contre, nous pouvons paramétrer la tension de sortie. Plus la valeur du courant I de seuil de début de luminosité de la LED est faible, mieux c'est pour notre montage final. Pour tous nos calculs, nous prenons 1,6 V comme tension moyenne de LED, on aura donc une tension de 6,2 V aux bornes de la résistance tout le long des tests ($7,8 - 1,6 = 6,2$ V). C'est un calcul approximatif sur lequel nous nous basons pour procéder à la recherche de la résistance. Avec une résistance allant de 125 Ω à 22 k Ω , nous savons grâce à la loi d'ohm ($U = RI$) que nous aurons un courant entre 0,28 et 49 mA. Nous trouvons huit résistances correspondant à la plage de 125 Ω à 22 k Ω . Nous avons voulu commencer nos tests avec la résistance de 125 Ω (forçant un courant de 49 mA pour le circuit). Les deux LED s'allument très bien. Les tests suivants sont réalisés avec des résistances de 350 Ω , 700 Ω , 1,2 k Ω , 4,7 k Ω , 6,2 k Ω et 10 k Ω . À chaque fois, nous testons le courant I avec un ampèremètre et nous comparons la luminosité des deux LED. Avec la résistance de 10 k Ω , nous mesurons un courant I de 0,5 mA. On constate une nette différence de luminosité des deux LED. Nous testons finalement la résistance de 22 k Ω . A ce moment-là, nous lisons 0,28 mA à l'ampèremètre. Seule la LED faible courant s'allume.



LA LED NORMALE (GAUCHE) ET LA LED FAIBLE COURANT (DROITE)

Nous disposons donc maintenant d'une LED qui en mode de fonctionnement normal a une tension de 1,6V et un courant approximatif de 20 mA et de plus, elle a un début de luminosité à très faible courant de démarrage.

L'Energy Harvester Breakout démarre à une tension d'entrée de 20mV et possède quatre modes de fonctionnement comme le LTC3108. Le LTC3108 de Linear possède 16 broches dont 4 pour relier à la masse alors que l'Energy Harvester Breakout possède 12 broches : les trois entrées [CI, C2 et SW du LTC3108] ne font plus qu'une appelée Vin en raison de la présence du transformateur dans le circuit [voir schéma de l'Energy Harvester Breakout] et il n'existe que deux sorties pour la masse.

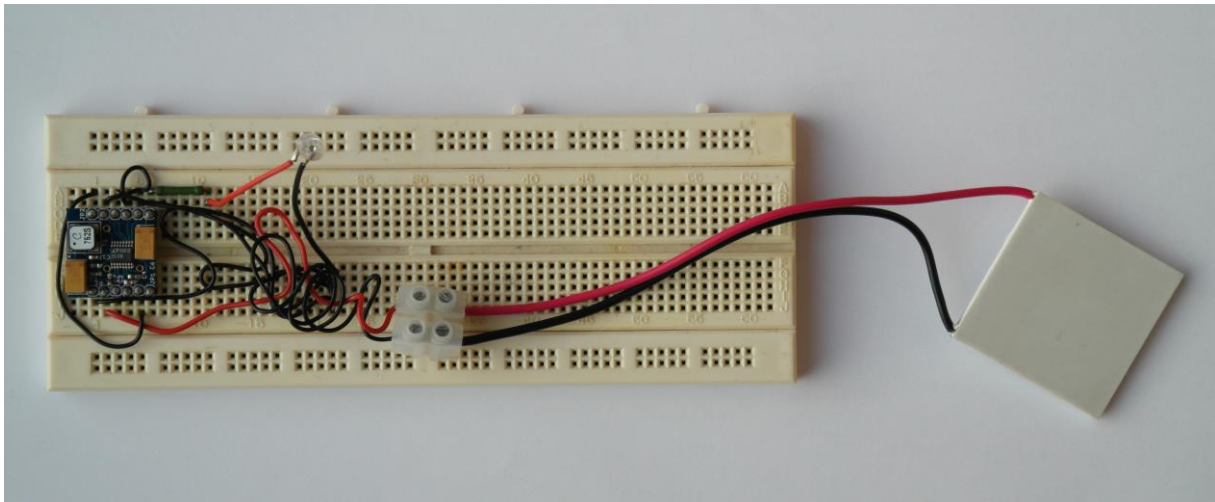
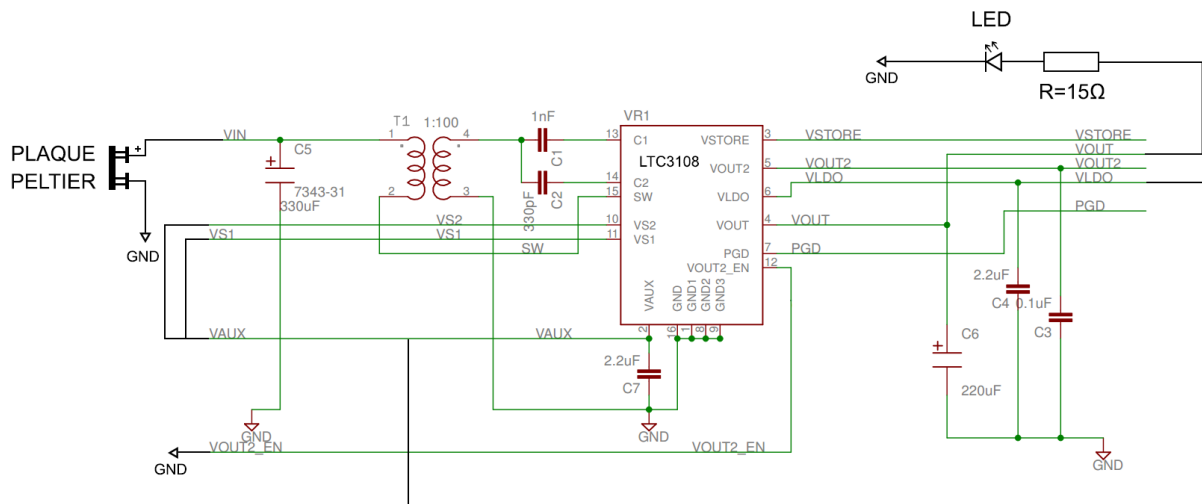


SCHEMA DE L'ENERGY HARVESTER BREAKOUT

La tension de sortie sur Vout [la sortie principale] peut être réglée entre 2,35V, 3,3V, 4,1V ou 5V. Nous choisissons 2,35V car la LED n'a besoin que de 1,6V environ. En utilisant la loi d'Ohm ($U = RI$), nous en déduisons qu'il nous faut une résistance de 37Ω ($R = (2,35 - 1,6) / 20 = 37 \Omega$). Nous recherchons dans notre stock une résistance proche de cette valeur et nous allons tenter notre montage avec une de 15Ω .

Le choix de ce mode [2,35V sur Vout] consiste à brancher VS1 et VS2 à la masse. Il reste donc 5 autres broches à connecter : Vout2 EN, Vstore, Vout2, VLDO et PGD. À partir de la documentation de Linear, on découvre que si l'on n'utilise pas Vstore et Vout2, on peut les laisser en l'air. VLDO doit être reliée à VAUX comme VS1 et VS2. Vout2_EN permet de contrôler Vout2 que l'on n'utilise pas donc on la relie à la masse. Nous choisissons de laisser PGD en l'air.

Nous avons donc un montage complet comprenant : un module thermoélectrique, l'Energy Harvester Breakout incluant le LTC3108, une résistance de 15Ω et une LED faible courant rouge.



3 : RÉSULTATS ET ANALYSES

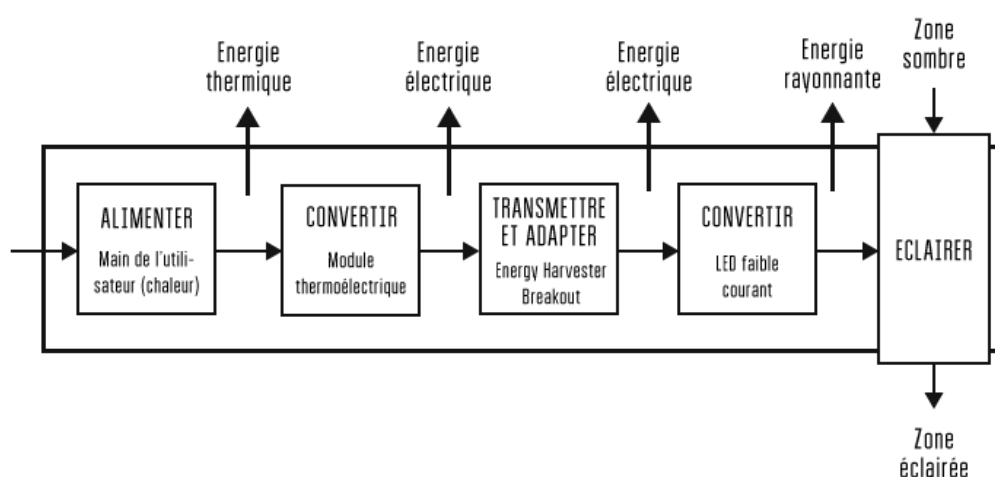
A- Nos résultats et les problèmes rencontrés sur notre montage final

Notre montage fonctionne. Avec la chaleur de la main, nous arrivons à allumer la LED, mais sa luminosité n'est pas très élevée.

Nous commençons par vérifier la tension de sortie du l'Energy Harvester Breakout : nous trouvons bien 2,35V comme attendu. Nous mesurons ensuite le courant I et nous découvrons que nous avoisinons 1mA à la LED, il est donc très faible, ça correspond à une puissance en sortie de l'Energy Harvester Breakout ($P=UI$) de 2,3 mW. Nous avons eu de la chance d'avoir une LED à faible courant pour notre montage. Ce teste nous montre que nous n'avons récupéré que 2,3 mW sur le potentiel théorique de 94,4 mW ($E(\text{module}) = 5,9 \times 4 \times 4 = 94,4 \text{ mW}$) d'un module thermoélectrique (cela donne un rendement de 2,4%). Sachant le rendement d'un module thermoélectrique de 8% pour les meilleurs modules du marché (ce qui n'est pas notre cas), notre résultat de notre montage n'est pas si aberrant que ça.

La deuxième surprise est la durée de l'éclairage. Le temps d'éclairage maximum obtenu est de 30 secondes. En mettant notre main pour réchauffer la face chaude du module thermoélectrique, on réchauffe vite la face froide ce qui diminue l'énergie produite. Cela vient du fait que les deux faces sont vraiment très proches et que nous n'arrivons pas à garder une différence significative de température entre les deux faces ; c'est l'un des principaux inconvénients de ces modules : la chaleur est trop facilement transmise de la face chaude à la face froide.

Nous sommes déçus de ces résultats : un courant très faible et une conductivité thermique apparemment forte entre les deux faces de notre module thermoélectrique.



CHAÎNE D'ÉNERGIE DE NOTRE MONTAGE FINAL

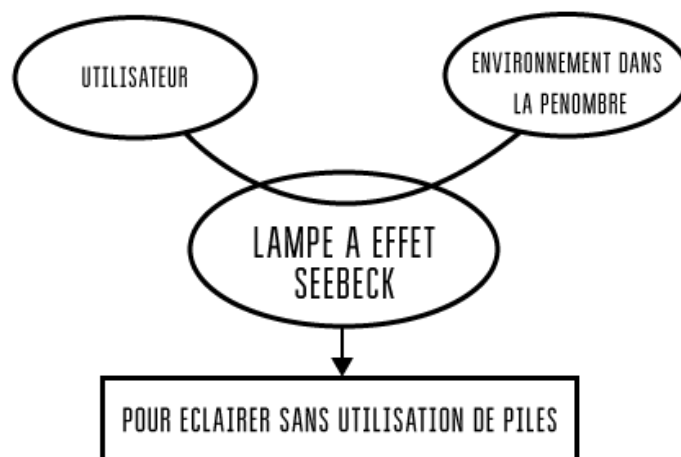
B- Les améliorations possibles

La première amélioration possible serait l'utilisation de modules thermoélectriques avec des matériaux et une géométrie interne différente des nôtres. Il est nécessaire d'avoir des matériaux n et p ayant une conductivité thermique la plus faible possible mais une conductivité électrique forte, évitant ainsi le transfert trop rapide de la chaleur d'une face à l'autre. La géométrie du module peut, elle aussi, être optimisée pour améliorer le rendement (dimensions des pavés internes du module).

La deuxième amélioration possible de notre montage serait d'utiliser plusieurs modules thermoélectriques pour augmenter la récupération d'énergie. Pour cela il faudrait utiliser des modules thermoélectriques plus petits mais à rendement similaire voire supérieur comme cela semble exister sur le marché : ils sont appelés modules thermoélectriques à haute performance. Cela permettrait d'en avoir plusieurs au lieu d'un seul à placer sous notre main.

On pourrait donc espérer un rendement supérieur ce qui fournirait une tension à l'Energy Harvester Breakout plus élevée et donc permettrait à celui-ci de sortir 4,5V au lieu des 2,35V actuellement. Le courant I pourrait peut-être lui aussi augmenter en effectuant ces améliorations.

La lampe de poche créée par Ann Makosinski pour le concours Google Science Fair est la lampe de poche idéale. Elle a réussi avec 4 modules thermoélectriques à alimenter 3 LED et avoir une luminosité finale de 53 lux. Pour cette lampe de poche, les modules ont été montés sur une zone aplatie d'un tube d'aluminium (face froide). Ce tube est installé à l'intérieur d'un tuyau en PVC. La main se pose sur les modules (face chaude) à travers une ouverture dans le tuyau en PVC. L'air s'écoulant à travers et autour du tube en aluminium maintient une différence de température. Ann Makosinski réussit à faire fonctionner sa lampe, éclairant pendant 20 minutes avec un système qui peut démarrer avec seulement 5°C de différence de température entre les deux faces des modules thermoélectriques.



« BÊTE À CORNES » DE LA LAMPE À EFFET SEEBECK

CONCLUSION :

PEUT-ON, GRÂCE À L'EFFET SEEBECK ET LA CHALEUR HUMAINE, PRODUIRE SUFFISAMMENT D'ÉNERGIE POUR ALIMENTER UNE LED ?

La réponse est OUI. En effet, nous avons réussi grâce à la chaleur de notre main à alimenter une LED ... Mais ce que nous avons expérimenté est très loin de répondre aux besoins d'une lampe de poche ! Les améliorations que nous suggérons et surtout le projet réalisé par Ann Makosinski, nous laissent penser que c'est une piste qui mériterait d'être développée. Ainsi, plus de soucis d'énergie à cette échelle ! C'est l'utilisateur qui produit lui-même l'énergie nécessaire, grâce à la chaleur que dégage son corps. Imaginons que notre montre puisse fonctionner ainsi et pourquoi pas des vêtements récupérateurs d'énergie pour alimenter nos appareils nomades par exemple... . Ceci s'inscrirait complètement dans toutes les démarches qui voient le jour actuellement : faire évoluer les moyens de production d'énergie.

RÉFÉRENCES :

<https://www.googlesciencefair.com/en/projects/ahJzfNjAwVuY2VmYWlyLTlwMTJyRA5SCIByb2plY3RTaXRljiNhaEp6Zm50amFXVnVZMlZtVdseUxUSXdnVEp5RUFzU0lxQnliMnBsWTNRWXA2ZVVVBZ3cM>

<http://www.linear.com/product/LTC3108>

<http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3108fc.pdf>

<http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/qr/d/eco-consommation-utilise-t-on-jette-t-on-piles-france-663/>

<http://www.youtube.com/watch?v=EgpJa739N8Y>

<http://www.geo.fr/environnement/les-mots-verts/energie-fossile-gaz-petrole-charbon-44252>

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3382>

http://www.technologie.ac-aix-marseille.fr/spip/IMG/pdf/energ_fossile_renov.pdf

http://fr.wikipedia.org/wiki/Combustible_fossile

<http://www.scoop.it/t/ene-renouvelables/p/40086524/4/2013/10/03/l-energie-d-ann-makosinski-une-lampe-torche-qui-s-alimente-de-la-chaaleur-du-corps-humain>

<http://espace.lecolededesign.com/2013/04/l%E2%80%99exploitation-de-l%E2%80%99energie-humaine-energie-renouvelable-et-inepuisable/>

<http://parlonsenergie.wordpress.com/category/technologie/>

<http://www.hebeiltd.com.cn/peltier.datasheet/TEC1-12710.pdf>

<http://lemondeetnous.canalblog.com/archives/2009/02/03/12254189.html>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Thermocouple#Le_milieu_de_mesure

<http://www.phytem.ens-cachan.fr/version-francaise/licence-l3-phytem/cours-td-tp-telechargeables/physique-experimentale/tp-physique-tp7-module-peltier--106858.kjsp?RH=1196780091389>

https://moodle.insa-rouen.fr/pluginfile.php/14186/mod_folder/content/0/Rapport_P6-3_2008_32.pdf?forcedownload=1

https://www2.ac-lyon.fr/etab/lycees/lyc-69/descartes/IMG/pdf/06a_-_Effet_Peltier.pdf

https://www2.ac-lyon.fr/etab/lycees/lyc-69/descartes/IMG/pdf/07a_-_Effet_Seebeck_-_ICR.pdf

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Thermo%C3%A9lectricité>

http://archives.tsf.free.fr/Stockolm_EnergiePortable2002.pdf

http://idf.udppc.asso.fr/IMG/pdf/G5_Thermoelectricite.pdf

<http://www.industrie-techno.com/convertisseur-dc-dc-eleveur-pour-applications-de-recuperation-d-energie.8978>

<http://www.linearnews.com/press/LTC3108/LTC3108-fr.pdf>

<http://www.electronique-mag.com/article2440.html>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/ConvertisseurBoost>

http://www.sonelec-musique.com/electronique_bases_conv_tension.html

http://fr.wikiversity.org/wiki/R%C3%A9sistance_et_imp%C3%A9dance/Imp%C3%A9dance

http://fr.wikipedia.org/wiki/Circuit_int%C3%A9gr%C3%A9

http://fr.wikipedia.org/wiki/Composant_mont%C3%A9_en_surface

http://fr.wikipedia.org/wiki/Circuit_imprim%C3%A9

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Proteus_\(%C3%A9lectronique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Proteus_(%C3%A9lectronique))

<http://www.mediadico.com/dictionnaire/definition/condensateur>

<https://s3.amazonaws.com/crispytronics/schematics/ehld.pdf>

<https://www.tindie.com/products/crispytronics/energy-harvester-breakout/>

http://robertdavidson.typepad.com/bobs_sensor_network_blog/page/2/

<http://www.farnell.com/datasheets/1738657.pdf>

<http://harizanov.com/wiki/wiki-home/ltc3108-energy-harvesting-breakout-board/>

<http://www.crispytronics.com/products/>