

Olympiades de physique 2014-2015
22ème édition

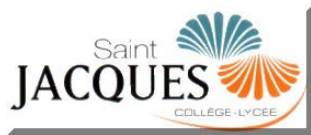


***Peut-on
recharger un
téléphone
portable avec
une flamme?***

Elèves participants:

- FLOUQUET Hugo
- DECAUCHY Antoine
- DESREUMAUX Maxime
Jacques

Lycée Saint-



Sommaire

1. Introduction
2. Historique de la thermoélectricité
3. Expérience historique
4. Expériences
5. Fonctionnement du module Peltier
6. Calcul du coefficient Seebeck (grâce à l'expérience)
7. Expérience finale
8. Ouverture

1. Introduction

La thermoélectricité est un phénomène électrique consistant à créer un courant électrique à partir d'une différence de température, c'est ce qu'on appelle l'effet Seebeck. Dans nos expériences nous allons étudier cet effet. Vous en connaissez peut-être les effets au travers des produits comme par exemple la glacière.

Nous allons vous en expliquer les raisons de manière les plus précises et pratiques que nous ayons trouvé. Quand vous verrez ces objets, vous ne les verrez plus de la même manière et comprendrez alors leur fonctionnement.

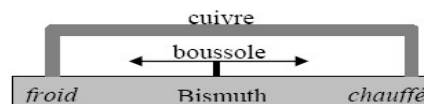
C'est le but que l'on s'est donné à travers d'abord notre TPE puis par la suite, aux cours des Olympiades de physique, parce que ce que nous avons aimé dans ce thème ce sont les avancés scientifiques et la réalisation technique. Nous, ce qui nous intéresse, c'est de comprendre comment ça marche. Notre rêve, pour chacun d'entre nous c'est d'exercer un métier où la mécanique, la physique, la technologie seront au cœur de nos métiers respectifs. C'est pour cela que notre projet contient un grand nombre d'expériences qui nous ont permis d'avancer et de comprendre les phénomènes mis en jeu.

Notre objectif est de produire une tension minimale de 5 Volts et environ 1 ampère pour espérer recharger un téléphone portable.

2. Histoire de la thermoélectricité

Voilà un peu plus de 170 ans que Jean-Charles Peltier a découvert un curieux phénomène: lorsque qu'un courant électrique traverse deux conducteurs de nature différente, l'un se refroidit tandis que l'autre se réchauffe (au niveau de leur jonction respective). Un peu auparavant, en 1821, Thomas Seebeck mettait un phénomène inverse: en effet quand deux matériaux conducteur différent sont proches l'un de l'autre, on obtient un courant électrique (certes faible) si les deux jonctions sont amenées à des températures différentes. Lord Kelvin confirma par la suite que les deux découvertes étaient reliées à un même phénomène, aujourd'hui appelé effet thermoélectrique.

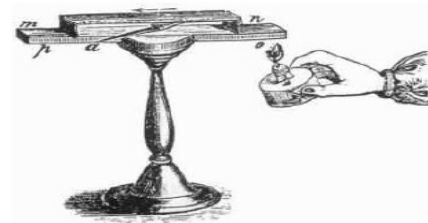
3. Expérience historique



Thomas Seebeck (1770-1831)



L'instrument original utilisé



Seebeck chauffe la partie droite d'un des deux métaux, il voit la boussole s'aligner.

Cette expérience historique est basé sur un effet thermoélectrique appelé l'effet Seebeck. De plus, cette expérience a été mise en évidence pour la première fois, vers 1821, par le physicien allemand Thomas Johann SEEBECK.



Nous avons récupéré et soudé une plaque de fer (en noir) et une plaque de cuivre (en marron). Nous avons chauffé une jonction (l'une était donc très chaude et l'autre resté froide). Cet écart de température a permis l'apparition d'un champ magnétique qui a provoqué le changement d'orientation de l'aiguille de la boussole.



Boussole au début de l'expérience

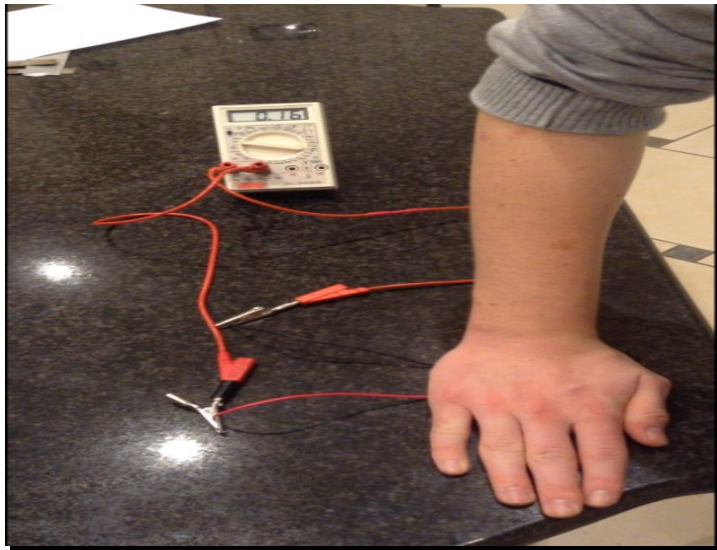


Boussole à la fin de l'expérience

4. Expériences

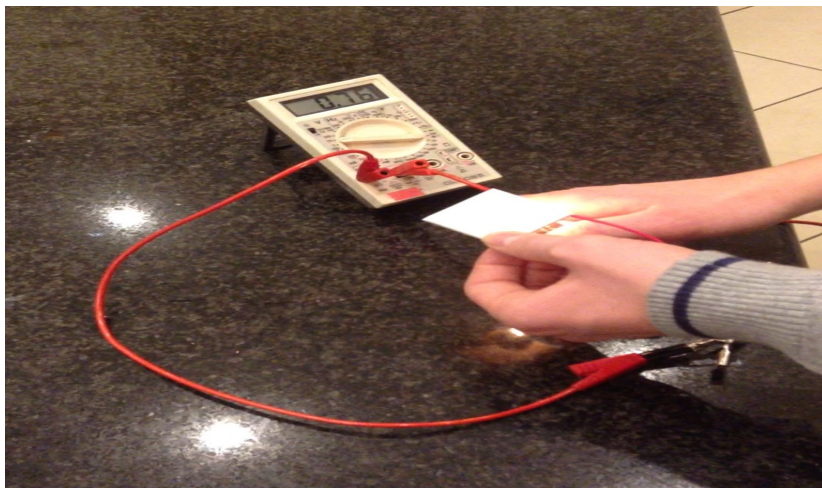
Certaines de nos expériences sont réalisées à l'aide d'un module Peltier dont on expliquera les caractéristiques et le fonctionnement par la suite.

a) Expérience de la main



On relie le module Peltier à un voltmètre (calibre : 20V). On remarque qu'une tension se crée. En effet un côté est de la plaque est chaud (celle où est placée la main) est l'autre côté est à une température ambiante.

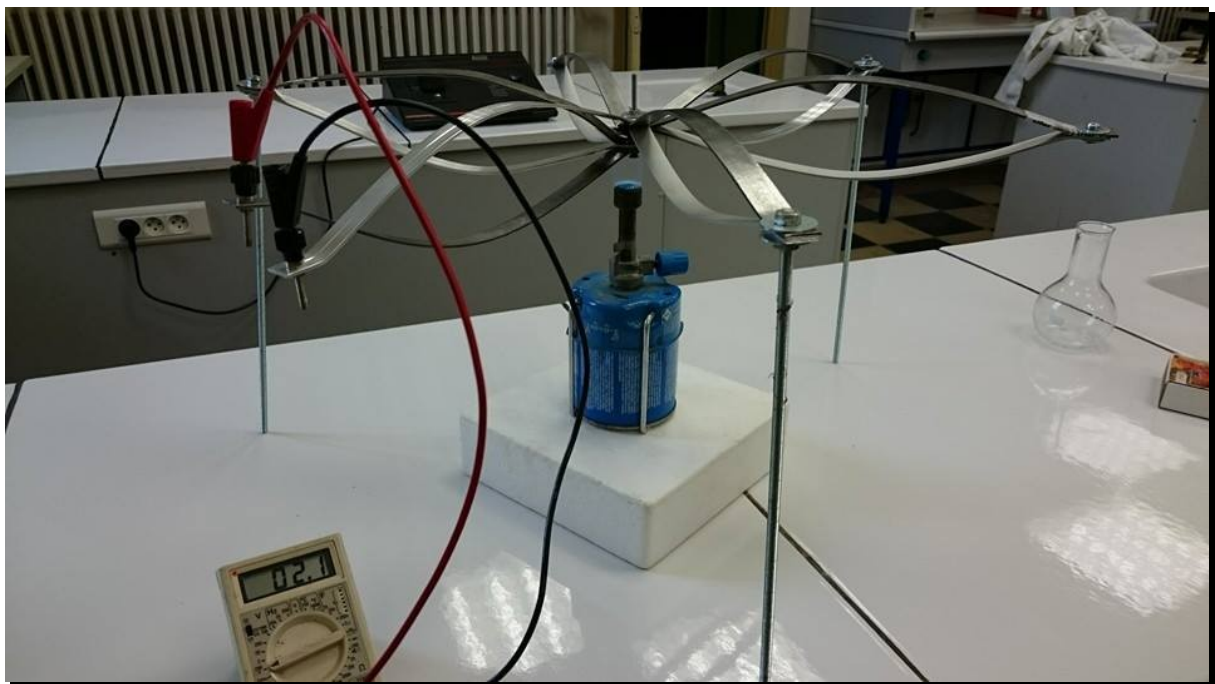
b) Expérience du briquet



On relie le module Peltier à un voltmètre (Calibre : 20V). On remarque qu'une tension plus importante se crée (environ 0.76V). En effet la différence entre les 2 côté est plus importante. Dès qu'on arrête de chauffer la tension produite diminue.

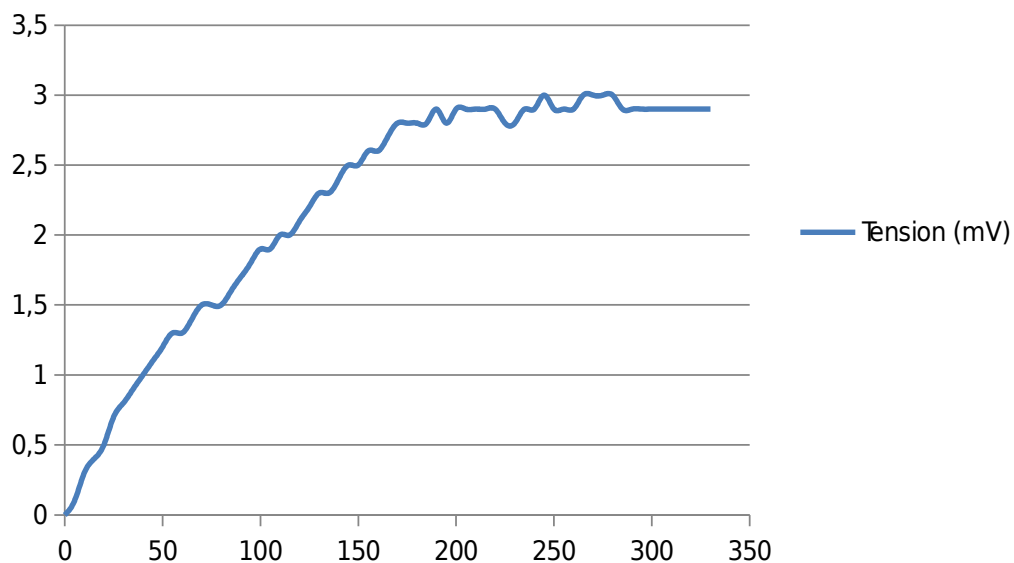
c) Expérience de « l'araignée »

Nous avons fait cette expérience à fin de mieux illustré l'effet Seebeck et aussi pour savoir à grande échelle ce qui se passe dans un module Peltier quand on l'utilise pour l'effet Seebeck

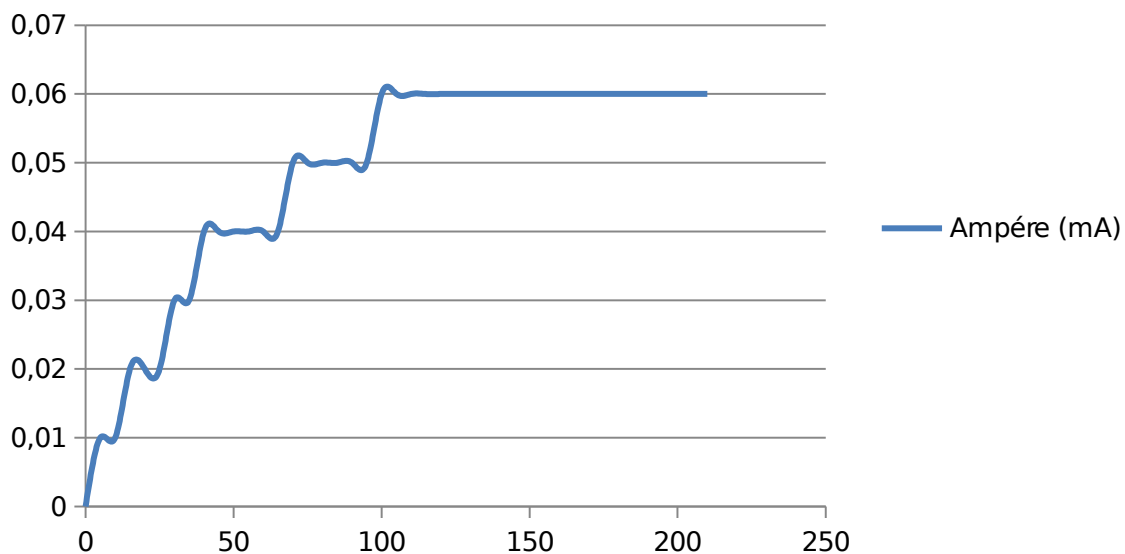


Nous avons réalisé plusieurs jonctions fer/aluminium en les reliant entre-elles. Nous avons ensuite chauffé à l'aide d'une bombonne de gaz et relevé la tension puis l'intensité produite grâce à la différence de température entre les jonctions

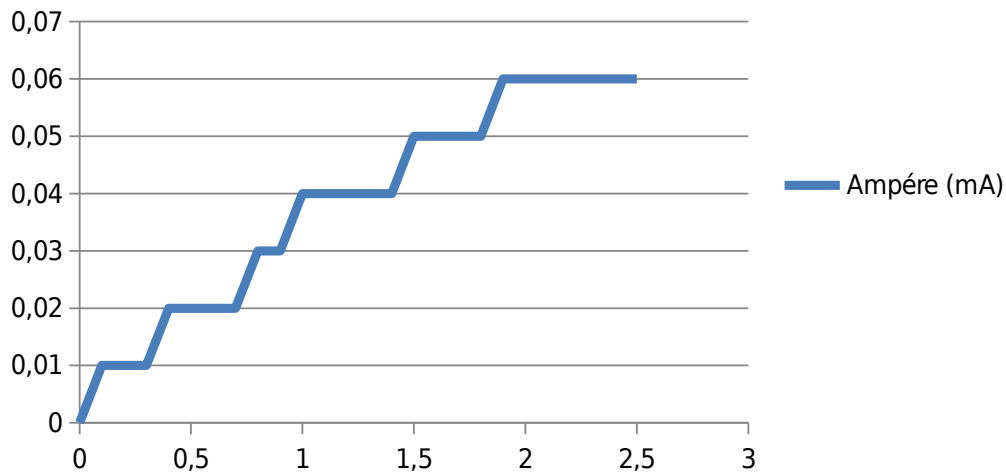
Tension (mV) en fonction du temps (secondes)



Intensité (mA) en fonction du temps (sec)



Intensité (mA) en fonction de la Tension (mV)



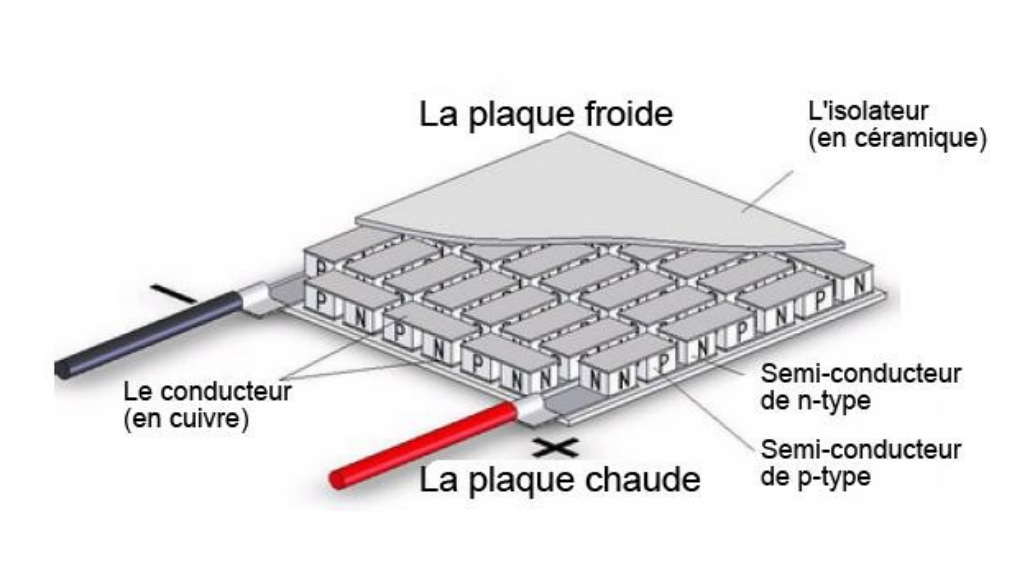
L'expérience fut un succès dans la mesure on a réussi à obtenir une tension et une intensité (bien que minime) ce qui démontre l'effet Seebeck.

Le but est de maintenant d'utiliser nos modules Peltier et d'optimiser leurs performances. Mais d'abord, qu'est ce qu'un module Peltier, et surtout, comment marche-t-il ?

5. Fonctionnement du module Peltier



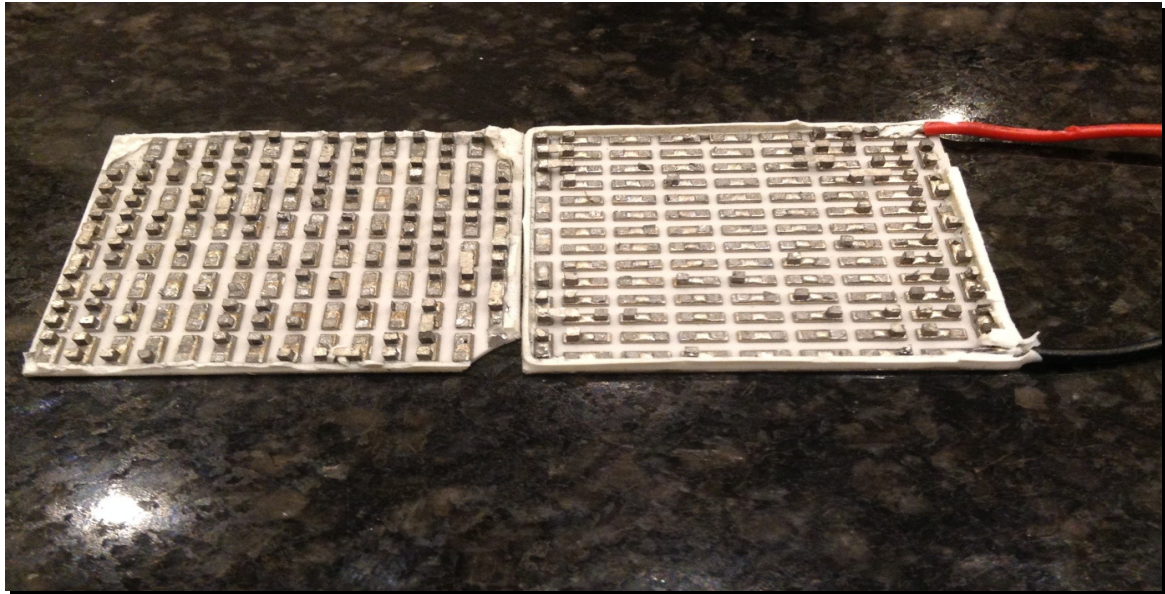
Un module Peltier (produit manufacturé) est constitué de 2 plaques en céramique qui servent d'isolation, de matériaux conducteurs ainsi que des matériaux semi-conducteurs appelés semi-conducteurs. Ces semi-conducteurs servent à transférer la chaleur d'une face à l'autre.



Lorsque le courant passe dans le module, la chaleur d'une face du module est transférée de l'autre côté à l'aide des semi-conducteurs N et P

Les conducteurs N et P n'ont pas la même densité électrique. Les électrons qui se déplacent du matériau possédant un déficit en électron (le matériau de type P) vers le matériau avec un surplus d'électron (le matériau de type N) vont absorber de l'énergie à la connexion tandis que les électrons se déplaçant du matériau de type N vers le matériau de type P vont relâcher

de l'énergie à la connexion. Cette énergie est absorbée et relâchée sous forme de chaleur.



L'utilisation des propriétés des semi-conducteurs a révolutionné nos vies.

Vous avez souvent entendu : "Le nouveau processeur de telle marque contient x millions de transistors".

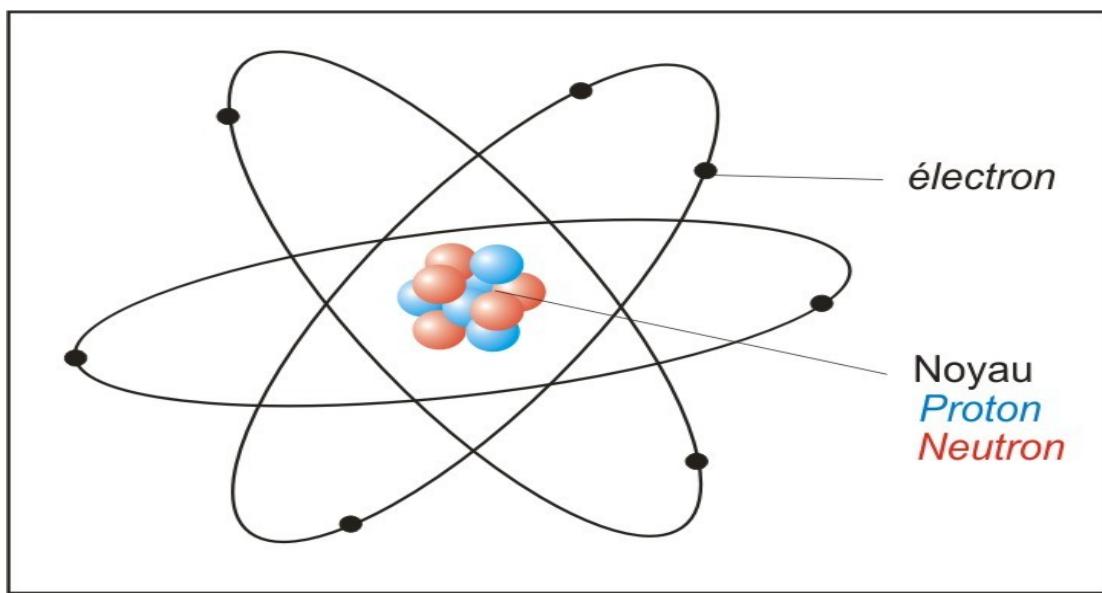
Et bien un transistor est fabriqué à base de matériaux semi-conducteurs. Donc sans semi-conducteurs, il n'y aurait pas de transistors, pas de processeur, pas d'ordinateur, de téléphone, de tablettes, de télévision... mais également tous les circuits actifs actuels sont fabriqués à base de semi-conducteurs. Toute l'électronique moderne les utilise.

Pour fabriquer les composants électroniques utilisés aujourd'hui, on ajoute des « impuretés » dans un semi-conducteur. C'est le cas dans nos modules Peltier.

a) Un peu de physique quantique pour commencer

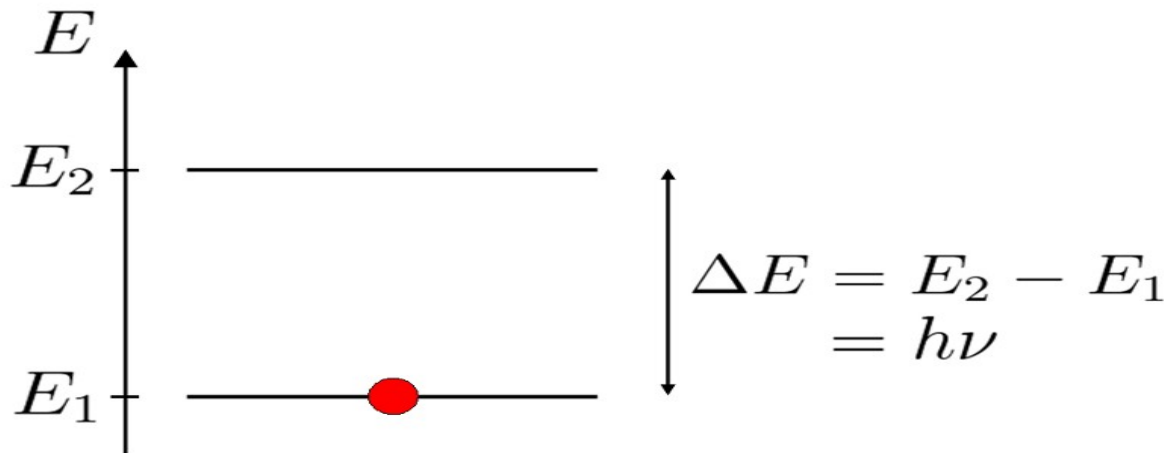
Pour bien comprendre ce qui fait qu'un matériau est isolant, conducteur ou semi-conducteur, il faut s'intéresser un peu à la théorie quantique.

Un atome est composé d'un noyau qui est chargé positivement et qui contient des protons et des neutrons ainsi qu'un nuage d'électrons chargés négativement. Dans un état non-ionisé, l'atome compte autant de charges positives que négatives. En théorie classique de la physique, ces orbites sont elliptiques, selon le modèle de Bohr.



Dans le modèle de Bohr, les orbites des électrons sont à distance fixe du noyau. Chaque électron occupe un état d'énergie fixe, ce qui confère à l'atome des couches électroniques auxquelles on assigne les lettres K, L, M...ou la couche K est la plus proche du noyau. Les couches ont également un nombre quantique « n » qui prend les valeurs 1, 2, 3, etc.

Les états quantiques sont remplis par les électrons par énergie croissante. Pour l'atome d'hydrogène, ayant un seul électron, un seul niveau d'énergie sera rempli qu'on nomme E_1 . Dans l'atome d'hélium, ayant 2 électrons, le niveau E_1 sera rempli, puis le niveau E_2 .



b) Définition d'un semi-conducteur

Un semi-conducteur est un corps cristallin dont les propriétés de conductibilité électrique sont intermédiaires entre celle des métaux et celle des isolants. Un semi-conducteur serait isolant à une température de zéro kelvin (zéro absolu), contrairement à un métal.

c) Semi-conducteur intrinsèque

Un semi-conducteur intrinsèque est un matériau semi-conducteur pur : le matériau est parfaitement régulier et ne contient aucune impureté.

Son comportement électrique ne dépend alors que de sa structure et de l'excitation thermique. Ainsi à 0 K, le matériau est isolant et plus on chauffe, plus le nombre d'électrons arraché à la bande de valence augmente et plus le matériau est conducteur.

Ces semi-conducteurs présentent néanmoins plusieurs inconvénients. Tout d'abord, les semi-conducteurs intrinsèques sont purement théoriques : aucune technique actuelle ne permet de fabriquer des cristaux parfaitement réguliers.

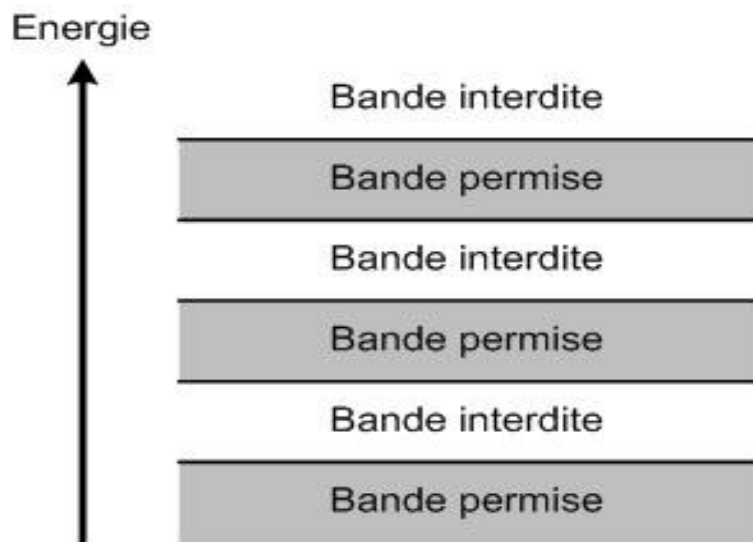
Ensuite, et surtout, les semi-conducteurs intrinsèques ne sont pas intéressants car ils présentent une conductivité très faible (à moins d'être portés à très haute température). Cette propriété est fondamentale pour l'industrie microélectronique, il n'est pas intéressant de chercher à fabriquer des semi-conducteurs intrinsèques, il est bien plus intéressant de contrôler le niveau d'impuretés dans le matériau pour lui donner des caractéristiques exploitables. On parle alors de dopage.

d) Semi-conducteur extrinsèque (ou semi-conducteur dopé)

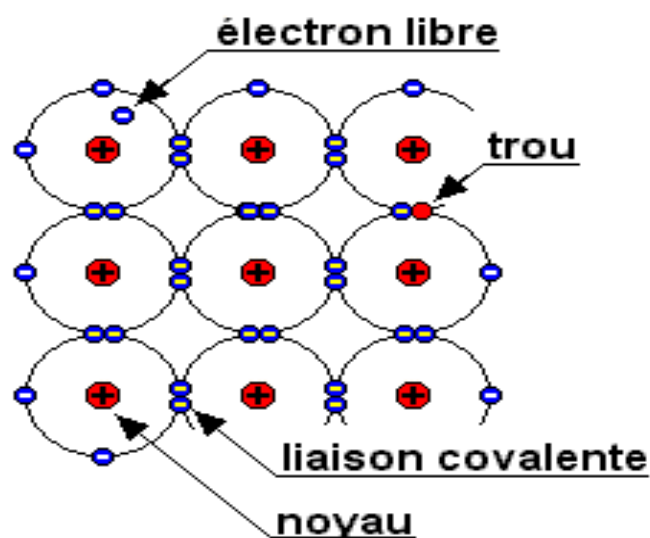
Le dopage est une technique qui permet à nos semi-conducteurs de "semi-conduire" plus efficacement. Nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, le semi-conducteur intrinsèque n'est pas exploitable. Pour pallier ces contraintes, des "impuretés" sont introduites au sein du solide lors de sa fabrication.

Ces impuretés, avec leur cortège électronique, introduisent au sein du matériau de nouveaux niveaux d'énergie. Si ces niveaux se trouvent dans les bandes permises du semi-conducteur intrinsèque, les impuretés n'ont aucun impact sur les propriétés du semi-conducteur ; tout se passe comme si elles n'existaient pas. En revanche, si les niveaux se trouvent dans la bande interdite, les impuretés modifient considérablement les propriétés du semi-conducteur.

Si celui-ci n'est pas dégénéré, il est dit dopé et les impuretés sont appelées dopants.



Souvenez-vous qu'un cristal de semi-conducteur intrinsèque est, à l'état fondamental, électriquement neutre, car les 4 électrons de la couche externe appartiennent à la bande de valence. Ils assurent la cohésion du cristal : les atomes mettent les électrons de leur bande de valence en commun, ils se les partagent, de façon à avoir 8 électrons sur leur couche externe, la configuration la plus stable qui soit. On introduit alors des dopants, qui n'ont pas le même nombre d'électrons sur leur couche de valence.



Les dopants de type N

Le dopage de type N consiste à introduire dans le cristal de semi-conducteur des atomes appartenant à la colonne V, qui possèdent donc 5 électrons sur leur couche de valence. On appelle ces éléments des dopants N.

Lorsqu'un dopant N et un semi-conducteur comme le silicium entre en contact, ils cherchent à partager des paires d'électrons. Ils peuvent ainsi partager chacun 2 paires d'électrons, pour posséder chacun 8 électrons sur leur couche externe.

Un électron du dopant est donc orphelin : il ne peut être partagé, et il ne peut occuper la bande de valence (elle est remplie). Il quitte donc l'atome et devient un électron libre - ou délocalisé -, capable de conduire le courant.

Le cristal présente donc un excès d'électrons, chargés négativement. Le semi-conducteur est donc dit dopé N. (N pour Négatif.)

Les dopants de type P

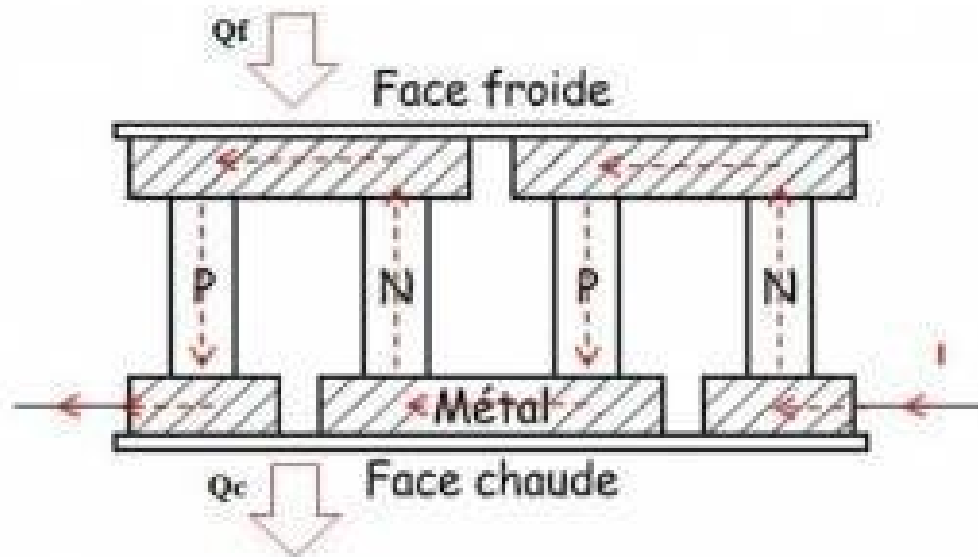
Le dopage de type P consiste à introduire dans le cristal des atomes appartenant à la colonne III, qui possèdent 3 électrons sur leur couche de valence.

Dans le cristal, les atomes de silicium et de dopants P présentent alors 7 électrons sur leur couche externe. Il manque un électron sur cette couche. Cette absence d'électrons, et donc de charge négative, est considérée comme une charge positive, ou trou.

Cette nouvelle structure peut également conduire le courant. En effet, sous l'action d'un échauffement, d'une différence de potentiel..., un atome en manque d'électron peut en recevoir un d'un autre atome, qui devient alors déficitaire en électron. Il y a eu un mouvement d'électron d'un atome vers un autre (ou un mouvement de trous dans l'autre sens), par définition, un courant électrique.

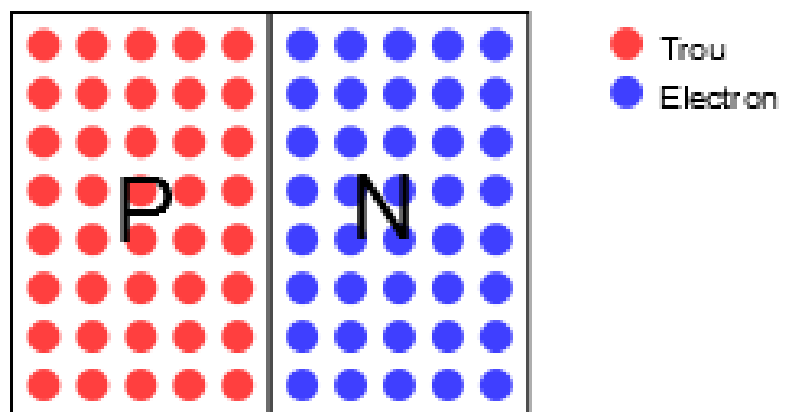
Un trou est considéré comme une charge positive, de même masse qu'un électron. Pourtant, un trou n'a aucune réalité physique. Il modélise uniquement une absence d'électron.

Finalement, le cristal présente donc un défaut d'électrons, ou un excès de trous, chargés positivement. Le semi-conducteur est donc dit dopé P. (P pour Positif)

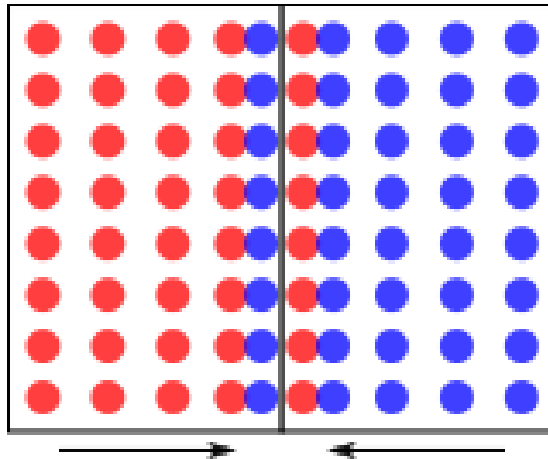


e) La jonction PN

Une jonction PN représente la mise en contact d'une surface de cristal de semi-conducteur dopé P avec une surface de cristal de semi-conducteur dopé N.



Quand les deux surfaces sont mises en contact, une partie des trous et des électrons se diffusent spontanément de part et d'autre de la jonction :



Diffusion des porteurs de charges

6. Calcul du coefficient Seebeck

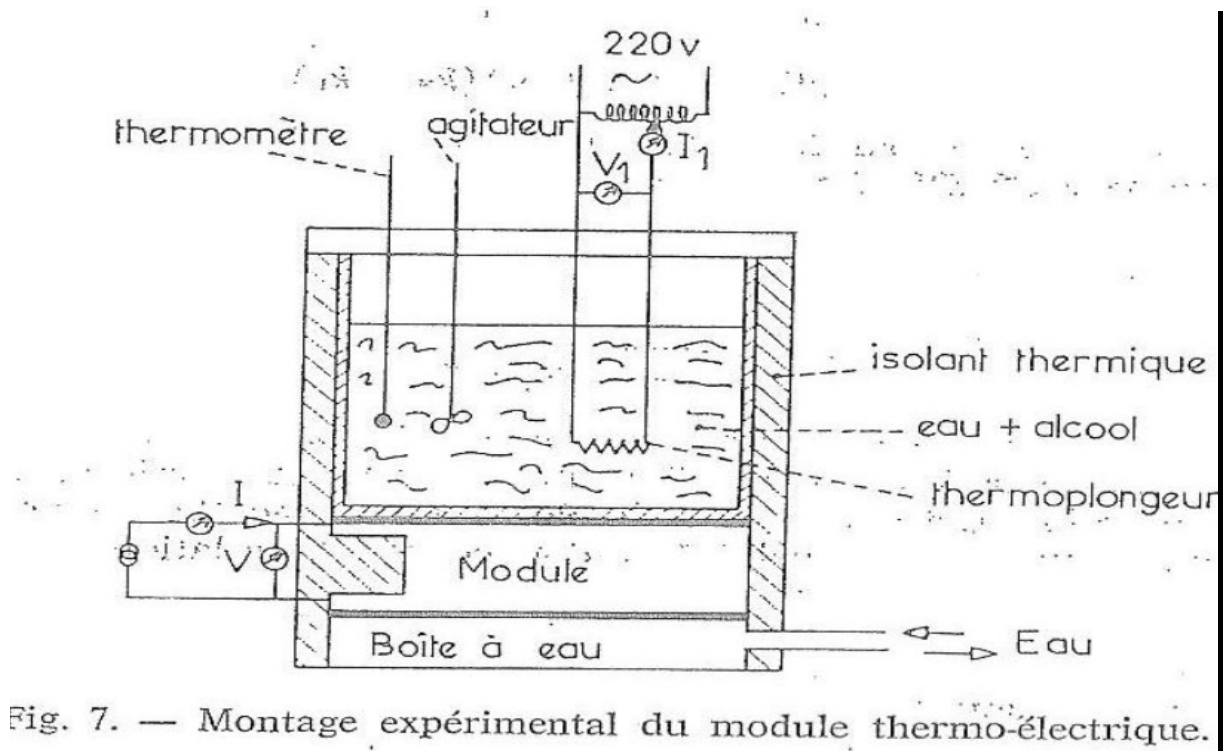
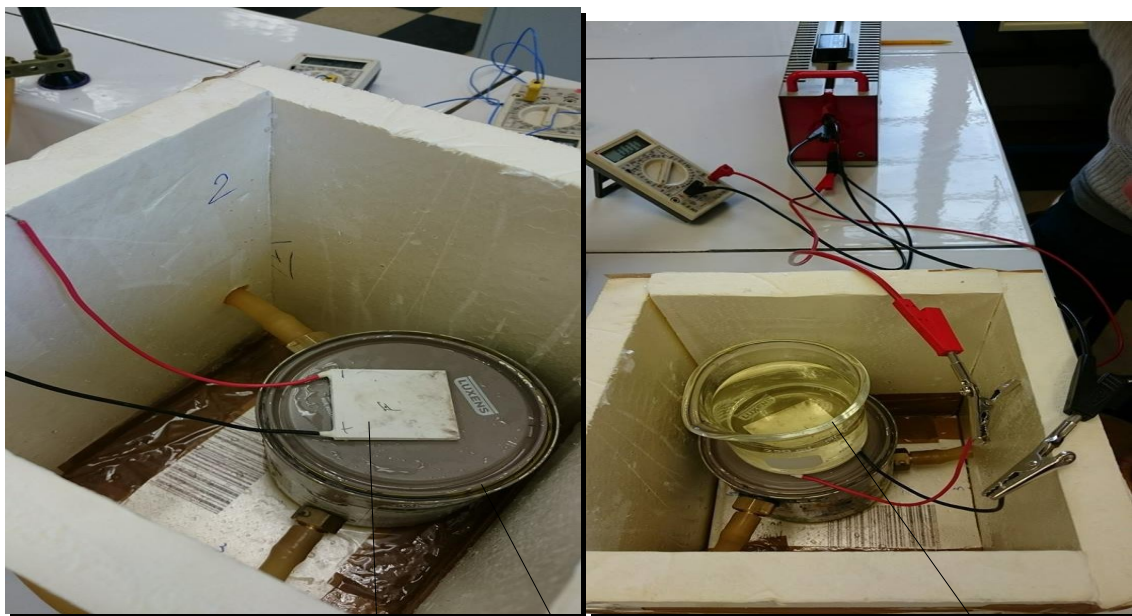


Fig. 7. — Montage expérimental du module thermo-électrique.



Système de pompe



Module

Boîte contenant de ..

Mélange eau/alcool
(100mL de chaque)

7. Expérience finale



Matériel utilisé :

- Voltmètre/ Ampèremètre
- Brûleur (à alcool)
- Module Peltier
- Ventilateur
- Thermocouples
- Radiateur

Cette expérience nous a permis d'affirmer qu'il était bien possible de recharger un téléphone avec une flamme. Malheureusement nous n'avons pas encore trouvé de téléphone test mais ces résultats sont positifs car l'ampoule s'allume et le ventilateur, primordial pour le refroidissement du module, se met en route de façon autonome, grâce à la tension créée (aux alentours de 2.5/3.0 Volts). Il ne reste plus qu'à améliorer cette expérience et produire encore plus de tension pour pouvoir prétendre recharger le téléphone.



8. Ouverture

La Thermoélectricité : une énergie renouvelable bientôt mieux exploitée.

La technique thermoélectrique n'est pas nouvelle, sa découverte date du 19ème siècle. Mais les avancées technologiques notamment dans le domaine des nanotechnologies ouvrent de nouvelles perspectives pour exploiter plus finement la thermoélectricité.

Des chercheurs ont déjà réussi avec la coopération du constructeur automobile BMW à transformer la chaleur émise au niveau des gaz d'échappement d'une voiture en électricité pour alimenter le système électronique du véhicule. A terme, ce système thermoélectrique pourrait permettre de réduire la consommation des véhicules de 5%.

Beaucoup d'objets que nous utilisons au quotidien émettent de la chaleur et c'est bien souvent une perte d'énergie, c'est de l'énergie gaspillée. Utiliser la thermoélectricité permettrait de recycler cette énergie et d'augmenter par la même occasion l'autonomie de nombreux appareils électroniques.

Nos ordinateurs, téléphones portables et téléviseurs émettent de la chaleur qui pourrait être convertie en électricité. Mais à terme, une meilleure sensibilité des dispositifs thermoélectriques permettrait même de récupérer notre chaleur corporelle pour alimenter un téléphone portable dans une poche de pantalon par exemple.

Une meilleure efficacité des générateurs thermoélectriques permettront même d'apporter une source d'énergie non négligeable pour des usines et des chantiers où certaines machines génèrent beaucoup de chaleur.

Dans un monde où l'énergie coûte de plus en plus cher, il est temps de développer toutes les sources d'énergies renouvelables et la thermoélectricité en fait partie.

