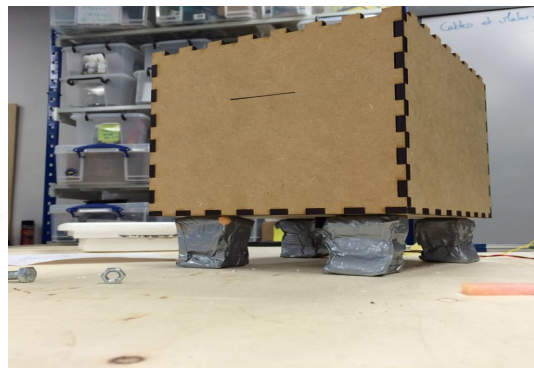


L1 PCGI 2016

UE : Ateliers de Recherche Encadrés

CALORIMETRE



Membres :

Eloi AUMAITRE

Benjamin DI SANTO

Yanis ISSIGHID

Diego ORMAECHEA

Matthieu ROUX

Sommaire

Répartition des tâches.....	3
Introduction	3
Fonctionnement.....	4
Élaboration du projet	6
Thermistance	7
Module Peltier.....	10
Ventilateur.....	13
Construction.....	14
Coupole.....	16
Budget (commandes).....	17
Problèmes rencontrés	18
Conclusion	19
Bibliographie	21

Répartition des tâches

Matthieu Roux : Arduino/Thermistance/Couple pour échantillon

Diego Ormaechea : Coordinateur/Tenue du wiki/Module Peltier/Assemblage

Eloi Aumaître : Tenue du wiki/Thermistance/Ventilateur/Commandes

Benjamin Di Santo Module Peltier/Construction Yanis Issighid : Alimentation électrique/Construction (n'a pas participé à l'élaboration de ce rapport)

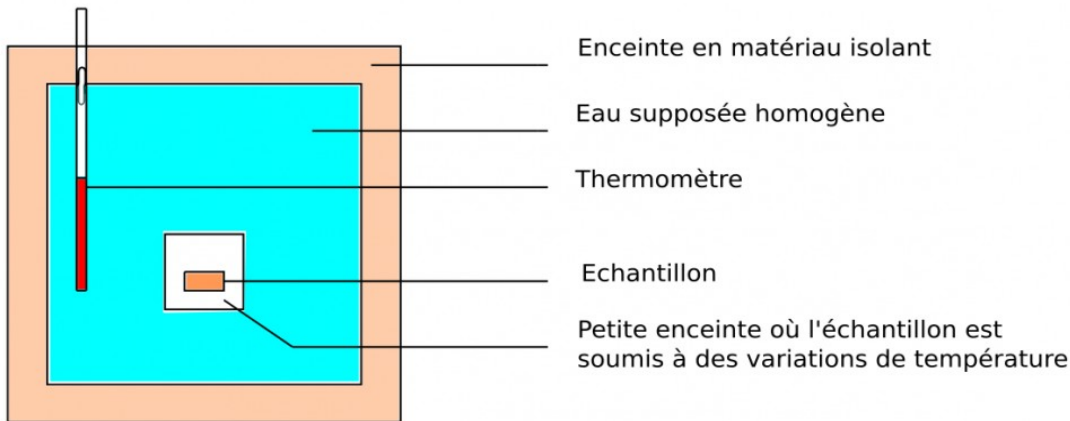
Introduction

Aujourd'hui, nous affrontons un défi de taille : la transition énergétique. Il faut pour cela optimiser nos biens afin d'économiser notre énergie au maximum. Le choix des matériaux dans un bâtiment, un outil, une machine est très important. La capacité thermique d'un matériau est sa capacité à échanger l'énergie par échange thermique D'où l'intérêt de connaître la capacité thermique d'un matériau pour isoler une pièce, apporter ou soustraire de la chaleur...

Le projet calorimètre nous a paru intéressant car il était complet. Il fallait atteindre des températures allant de -50°C à 150°C c'est à dire apprendre à réfrigérer et apprendre à chauffer, contrôler et mesurer la température. Tout cela sans compter toute la partie électronique et informatique que nous n'étions pas capable d'évaluer car il s'agissait d'une première expérience en la matière.

Fonctionnement

Voici un calorimètre classique :



Notre objectif est de réaliser un calorimètre automatisé, instrument de mesure, permettant de suivre le comportement thermique d'un objet à l'aide d'une enceinte adiabatique. On essaiera de faire en sorte que l'expérimentateur ait à manipuler le moins possible.

En thermodynamique, le calorimètre est une enceinte isolante qui empêche tout échange d'énergie et de chaleur avec le milieu extérieur. Il utilise la relation entre la quantité de chaleur (énergie) apportée et l'évolution de la température au cours du temps pour nous informer sur la capacité thermique (massique) de l'échantillon étudié.

On utilise la formule : $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ Avec:

- **Q: la quantité de chaleur (J)**
- **m: la masse de l'échantillon (kg)**
- **c: la capacité thermique de l'échantillon (J/(kg.K))**
- **ΔT : la différence de température (K)**

La capacité thermique est une propriété intrinsèque à chaque matériau : elle représente la capacité qu'a un matériau à restituer ou absorber l'énergie par transfert thermique. La capacité thermique massique est égale à la chaleur nécessaire (en J) pour élever la température de 1 degré d'un matériau de 1 kg. En réalité, les capacités thermiques dépendent de la température et varient selon les conditions expérimentales (suivant que l'expérience ait lieu à volume ou pression constante).

La chaleur n'étant pas une fonction d'état, la quantité de chaleur mise en jeu au cours d'une transformation dépend de la façon de procéder (transformation réversible ou irréversible). C'est pourquoi il est nécessaire que la quantité de chaleur soit égale à la variation d'une fonction d'état, ce qui est le cas à pression constante ou à volume constant.

Le calorimètre est un appareil destiné à mesurer les échanges de chaleur (énergie calorifique, du latin calor signifiant chaleur). Cet échange peut se produire entre plusieurs corps, mettre en jeu des changements d'état ou des réactions chimiques. Le calorimètre constitue un système thermodynamique isolé, ce qui implique qu'il n'y a pas d'échange de matière et d'énergie (travail ou chaleur) avec le milieu extérieur. Néanmoins, cela ne signifie pas qu'il n'y a pas des transferts de chaleur entre les différentes parties de l'ensemble calorimétrique (composés objets de l'étude, accessoires et paroi du calorimètre...); notre but étant de les minimiser au maximum.

On a juste à faire attention aux changements d'état qui peuvent fausser les résultats si on ne les prends pas en compte.

Élaboration du projet

Une fois le choix du projet fait, nous nous sommes beaucoup documentés sur la calorimétrie. Nous avons cherché à savoir comment est-ce que cela fonctionnait, nous avons donc cherché les éléments nécessaires. Une fois que nous avons déterminé ces éléments, nous avons réalisé un schéma le plus détaillé possible afin de s'y tenir lors de la construction.

Schéma réel :

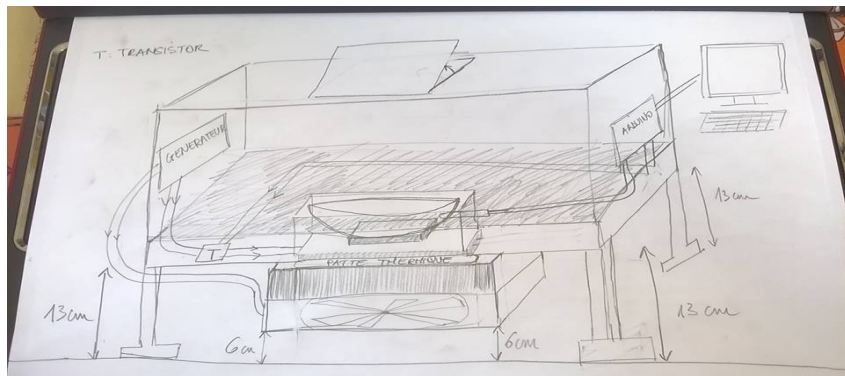


Schéma fonctionnel :

Blocs fonctionnels :

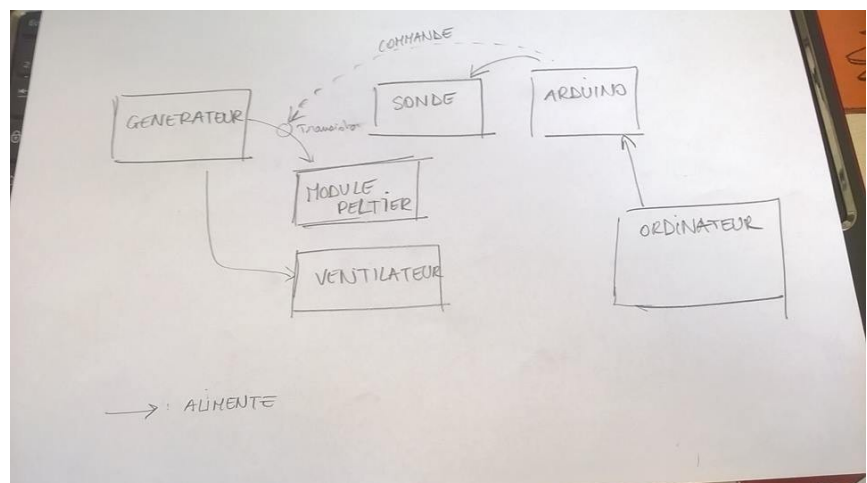
Apport quantité de chaleur

Capteur de température

Régulation de la chaleur

Isolation

Couple échantillon



Thermistance

Élément majeur de notre machine : le capteur de thermique. Un capteur thermique mesure la température à l'intérieur de l'enceinte. Le choix de ce composant a été compliqué car il en existe des modèles divers. Les capteurs envisagés : thermomètre, thermistance, capteur thermique infrarouge, thermocouple.

Nous avons opté pour une thermistance qui répond à nos critères de prix, de taille, de résistance et de gamme de température. Le mode de restitution des données a aussi compté dans notre choix.

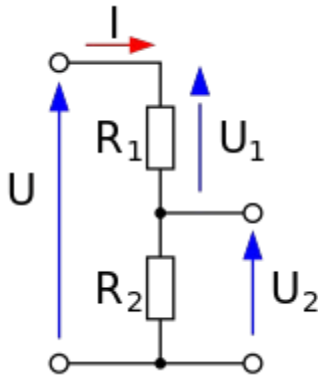
Modèle choisi : Thermistance KTY81/220 (CI de capteur de température, -55 °C, +150 °C, SOD-70, 2)



Le montage de la thermistance était le plus compliqué, en effet les programmes de l'arduino UNO ne nous permettaient pas de mesurer la différence de tension aux bornes de ce capteur. Mais une fonction simple, `analogRead()`, présente dans la bibliothèque du logiciel nous permettait de lire la valeur de la tension à l'une de ses bornes.

En effet, « `analogRead()` » lit la valeur de la tension présente sur la broche spécifiée. La carte Arduino comporte 6 voies (8 voies sur la Mini et la Nano) connectées à un convertisseur analogique-numérique 10 bits. Cela signifie qu'il est possible de transformer la tension d'entrée entre 0 et 5V en une valeur numérique entière comprise entre 0 et 1023. Il en résulte une résolution (écart entre 2 mesures) de : 5 volts / 1024 intervalles, autrement dit une précision de 0.0049 volts (4.9 mV) par intervalle.

Mais nous avons besoin de connaître la tension qui traversait la thermistance, c'est pourquoi nous avons utilisé un pont diviseur de tension pour obtenir les meilleurs résultats possible.

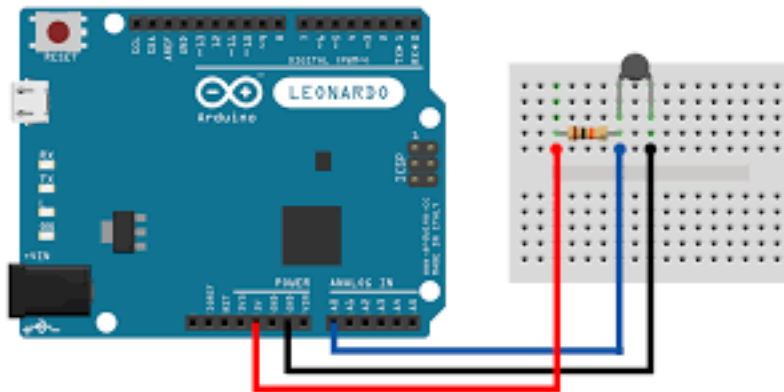


Ici, on voit un schéma simplifié d'un pont diviseur de tension. La formule est très simple :

Ainsi, il suffisait de connaître la valeur de la tension délivrée par l'arduino (5V) et la valeur de la résistance mis en série ($1k\Omega$) pour obtenir la valeur de la tension aux bornes de la thermistance.

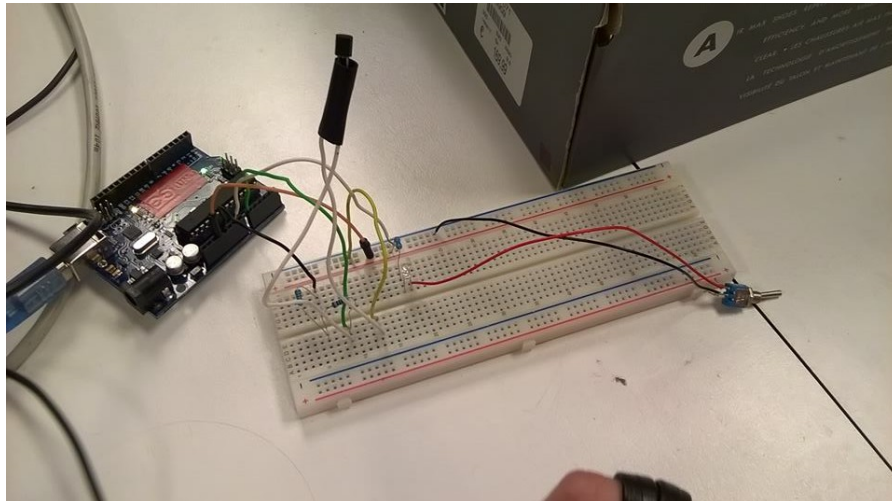
Mais la valeur de la résistance ne nous intéressait pas, nous voulions la température qu'elle mesurait. C'est pourquoi nous avons utilisé la datasheet de la thermistance et nous nous sommes rendu compte que la courbe de la température mesurée par la thermistance en fonction de la tension mesurée ne suivait pas une courbe linéaire. Nous avons dû ainsi remplir un tableau de valeur dans le programme en entrant toute les valeurs prise par la thermistance en fonction de la température.

Nous avons donc fini par faire le montage suivant pour la thermistance :



Nous avons réussi à programmer la thermistance, elle affiche la température à 2,5°C/K près en Kelvin et degrés Celsius, sur une fourchette allant de -40°C à 150°C. Notre programme affiche également le temps.

Circuit électrique final



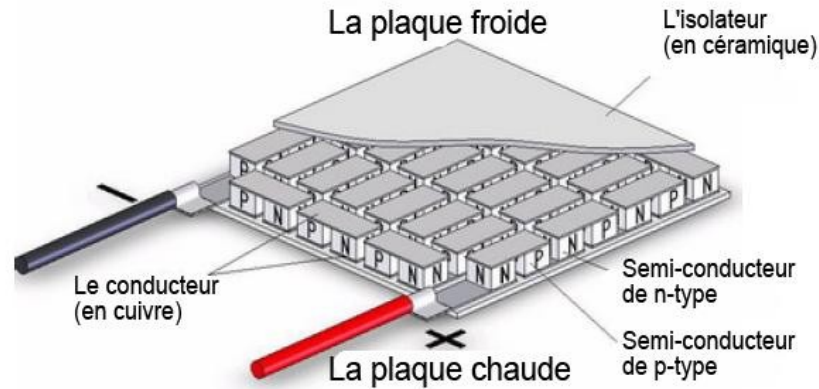
Module Peltier

C'est l'un des éléments les plus importants de notre projet. Notre calorimètre doit être capable de fournir une quantité de chaleur contrôlée dans l'enceinte et de faire varier la température du système entre -30°C et 110°C. Notre choix s'est porté vers un module thermo-électrique reposant sur l'effet Peltier qui est capable de remplir toutes ces fonctions.

L'effet Peltier est un phénomène physique de déplacement de chaleur en présence d'un courant électrique. L'effet se produit dans des matériaux conducteurs de natures différentes liés par des jonctions (contacts). L'une des jonctions se refroidit alors légèrement, pendant que l'autre se réchauffe. La quantité de chaleur dégagée et son signe dépendent de la composition des matériaux en contact, de l'intensité du courant et du temps du passage du courant. C'est-à-dire que la quantité de chaleur dégagée est proportionnelle à la puissance électrique qui passe par ces jonctions

La cause de l'effet Peltier est la différence de potentiels entre les métaux (ou matériaux conducteurs) en contact qui crée le champ intérieur. Si courant passe entre ces deux conducteurs, ce champ va contribuer au passage du courant, ou l'empêcher. Si le courant va contre le champ de contact, il va y avoir une perte d'énergie qui se fera sous la forme d'un transfert de chaleur vers l'extérieur (donc hausse de la température de l'enceinte). Si le courant va dans le sens du champ de contact, celui-ci va contribuer au déplacement des charges. Dans ce cas l'énergie nécessaire est prise à l'extérieur, ce qui le refroidit.

L'effet Peltier est à la base des systèmes de refroidissement par effet thermoélectrique. Schéma résumé :



C'est l'élément qui est le plus dur à alimenter, en effet il ne supporte qu'une tension et un courant particulier qui ne pouvait être donné par l'arduino ou la pile électrique. Nous avons essayé une alimentation externe mais elle fournissait un courant trop important qui ne pouvait être atténué par les résistances.

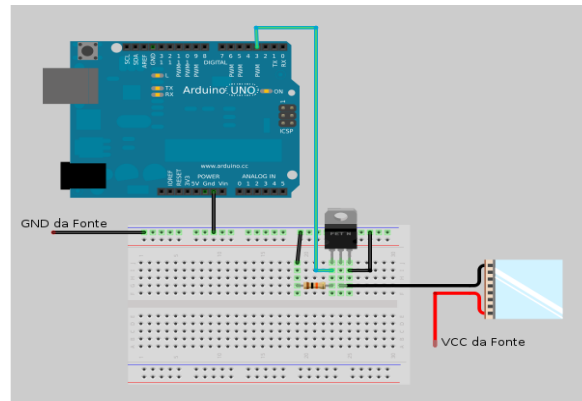
Nous avons donc opté pour l'utilisation d'un générateur modulable (GBF) qui nous permettait de donner au module Peltier les bonnes valeurs de tension et de courant.

On se sert de la formule $P=U.I$ qui nous donne la puissance en Watts pour trouver l'énergie fournie au système : calorimètre+air+coupolet+échantillon. On multiplie ensuite par le temps de chauffe et on obtient : $dE=P.dt$

Il faut cela dit prendre certaines mesure pour trouver la capacité calorifique d'un élément :

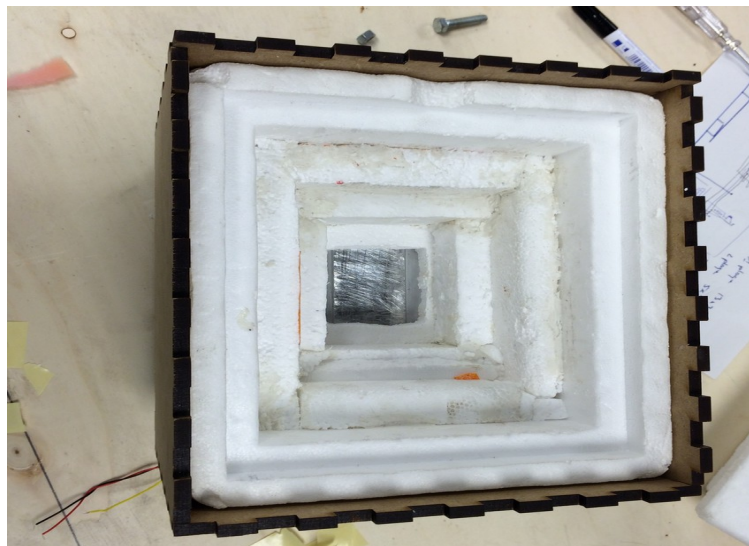
-Trouver la capacité calorifique du calorimètre (l'énergie nécessaire pour le faire augmenter de 1K). En effet, il faut prendre en compte le fais qu'il faut aussi fournir de l'énergie au calorimètre pour qu'il chauffe.

-Faire l'expérience avec de l'eau (car sa capacité calorifique est connue). Cela va nous permettre de connaître précisément les caractéristiques de notre calorimètre.



Ci-dessus le branchement idéal de notre module. Nous n'avons pas réussi à faire fonctionner le transistor, notamment à cause d'un problème de contrôle d'alimentation, mais qui peut tout à fait fonctionner en approfondissant les recherches et ainsi intégrer l'apport de quantité de chaleur au programme qui traite déjà l'évolution de la température en fonction du temps.

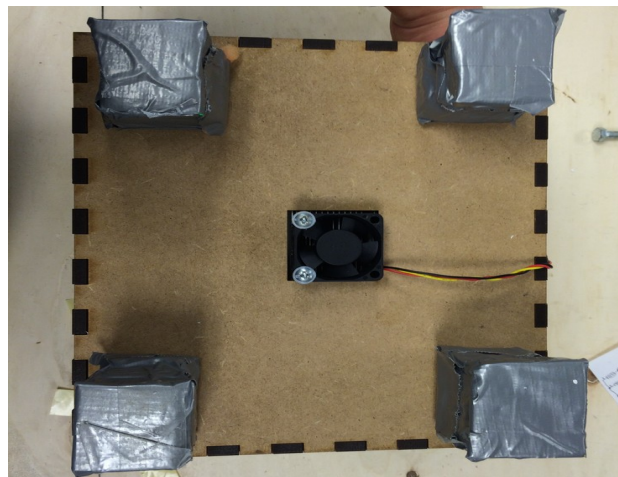
Emplacement final du module Peltier :



Ventilateur

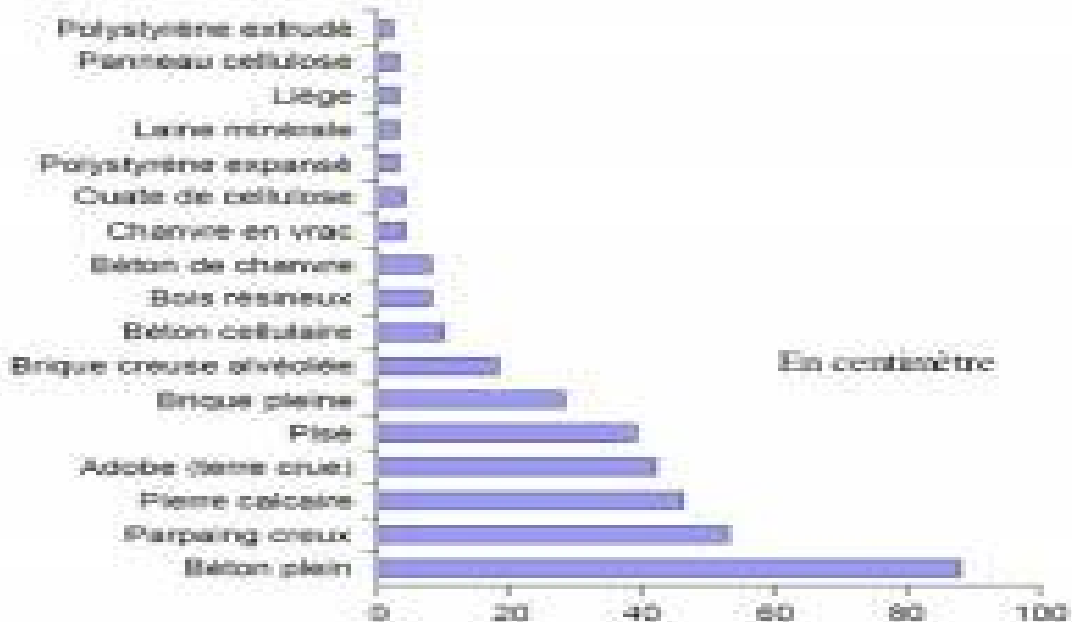
Le ventilateur assure la régulation de la chaleur. La tension et le courant délivrés par l'arduino UNO ne suffisait pas pour alimenter correctement le ventilateur, nous avons ainsi opté pour utiliser une pile 9V avec laquelle nous avons mis un interrupteur en série de manière à contrôler l'utilisation de celui-ci. En effet il ne sert qu'à refroidir l'intérieur de la boîte, il n'est donc pas nécessaire de l'utiliser en permanence pendant l'expérience.

Nous aurions pu opter pour d'autres moyens de réfrigération comme en faisant des mélanges chimiques simples qui nous auraient permis d'atteindre des températures très froides.



Construction

L'isolation classique d'un calorimètre repose sur un vase de Dewar. Cet élément étant trop cher pour nous, le polystyrène s'est trouvé être le meilleur isolant pour notre enceinte.

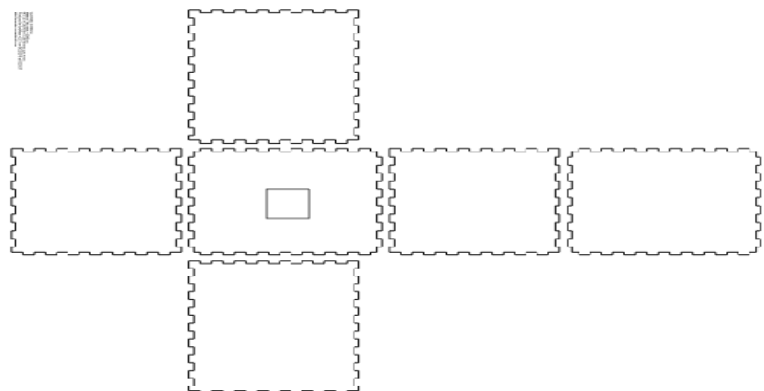


La partie de conception pour notre projet était une des plus délicate car elle a nécessité beaucoup de travail, de changements et d'ajustements pour obtenir un modèle correct. Après discussion sur les différents isolants possibles, nous avons décidé de partir sur une boîte en polystyrène récupérée qui contiendrai notre système d'apport de chaleur, la coupole qui tiendra l'échantillon et la thermistance. Après plusieurs tentatives d'isolation, on a décidé de partir sur la forme d'un cube. Ensuite, pour augmenter l'efficacité de la diffusion de la chaleur dans toute l'enceinte, il nous a fallu réduire l'espace chauffé et en augmenter l'isolation. Pour ce faire nous avons décidé d'épaissir chaque face du cube de l'intérieur en rajoutant des couches de polystyrène de sorte à ne plus avoir qu'une petite enceinte à chauffer. Celui-ci est mieux isolé et ses faces correspondent à la taille du module Peltier. Une fois notre enceinte déterminée, nous avons décidé, afin de protéger le cube de polystyrène et dans la recherche d'un design plus intéressant, de

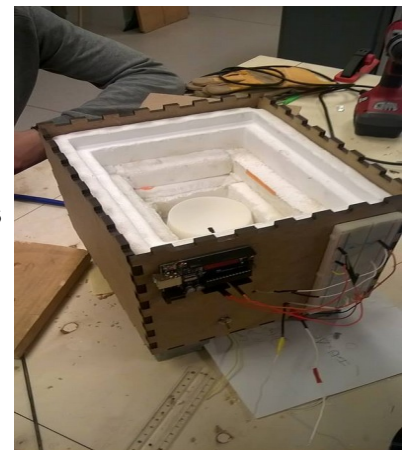
l'entourer de plaques de bois, dessinées grâce au programme BoxMaker. Elles ont ensuite été découpées à la découpeuse laser et assemblées afin de contenir la boîte de polystyrène. La plaque du haut, équipée d'une poignée, permet d'ouvrir et de fermer l'enceinte de mesure et de placer l'échantillon à l'intérieur. Il y a une ouverture sur le dessous de la boîte ainsi que des pieds pour laisser de la place au ventilateur. Enfin, nous avons pris la décision de placer l'arduino, la platine et l'interrupteur qui contrôle le ventilateur à l'extérieur de la boîte afin de préserver son isolation et de pouvoir effectuer des modifications ou des réparations au niveau des câblages sans détériorer notre calorimètre.

Nous avons commencé par construire la structure. C'est une boîte en bois que nous avons adapté à la taille d'une boîte en polystyrène avec un trou carré de 4cm de côté en dessous pour laisser passer le ventilateur. Nous l'avons découpée à la découpeuse laser à l'aide du site BoxMaker.

Patron de la boîte :



Une fois que nous étions sûrs de nos circuits, nous avons perforé la boîte pour laisser passer les fils des thermistance, module Peltier et ventilateur. Nous avons soudé les fils entre eux et colmaté les derniers trous.



Coupole

Nous avons créé la coupole sur OpenSCAD puis nous l'avons imprimée à l'aide d'une imprimante 3D de sorte à pouvoir faire des expériences sur des liquides également et pour éviter qu'un solide ne vienne abîmer notre calorimètre en fondant.

Ici, une photo du socle avec un objet métallique



Budget

Articles	Prix	Lien
Thermocouple Pt100	9,10 €	http://fr.farnell.com/labfacility/dm-508/pt100-couche-mince-2-x-5-0mm-class/dp/1289666
Arduino UNO	7,83 €	http://www.miniinbox.com/fr/version-amelioree-uno-r3-conseil-atmega328p-compatible-arduino_p3145172.html?currency=EUR&litb_from=paid_adwords_shopping&utm_source=google_shopping&utm_medium=cpc&adword_mt=&adword_ct=94710053641&adword_kw=&adword_pos=1013&adword_pl=&adword_net=g&adword_tar=&adw_src_id=1364803665_328602241_21739983721_pla-184626494955&gclid=CJludT vz8sCF e4y0wodvTUH3Q
Module Peltier	47,00 €	http://fr.farnell.com/european-thermodynamics/ap2-024-06-11/module-peltier-2-2vdc-0-8w/dp/2519560?ost=ap2-024&selectedCategoryId=&categoryName=Toutes+les+cat%C3%A9gories&categoryNameResp=Toutes%20Bles%20Bcat%25C3%25A9gories
Ventilateur	6,77 €	http://fr.farnell.com/sunon/mb40201vx-0000-g99/ventilateur-40mm-vert-12vdc/dp/1824261
Dissipateur		
Fusible intensité élec.	26,26 €	http://fr.farnell.com/alfatronix/pt10/basse-tension-disconnect-dc-10amp/dp/2357931
Thermistance	0,97 €	http://fr.farnell.com/nxp/kty81-220/temperature-sensor-sod70/dp/2066197
Interrupteur x2	5,48 €	
Pile 9V	2,13 €	
Total	112,87 €	

Problèmes rencontrés

- **Dimensions du calorimètre**
- **Valeur, taille et puissance de la résistance**
- **Générateur supplémentaire (L'Arduino ne fournit que 5V , à comparer avec la résistance)**
- **Matériel défectueux**
- **Tests expérimentaux**
- **Programmer l'Arduino en fonction de la thermistance, du ventilateur et du le module peltier (via le transistor)**
- **Mettre en place le circuit électrique**
- **Concevoir la boîte pour isolation maximale et pour maintenir la température**
- **Le dissipateur (grille) initialement prévu avec le ventilateur c'est avéré trop efficace en terme d'absorption thermique. En effet, lors de calibrage, on a remarqué que la grille annihilait la chaleur produite par le Peltier.**

Conclusion

Finally, we succeeded in making a calorimeter, to make it functional and more practical than those that were used in physics practical work :

- We do not have to open the calorimeter to introduce an object at high or low temperature (relatively to the temperature inside the calorimeter). This avoids energy losses during transfer. We just have to leave the object inside and heat or cool it with a Peltier module.**
- We do not have to note the evolution of the temperature over time. Once the thermistor program is started, it displays this evolution. Thus, we have a direct temperature difference for a given time. This program is also more reliable than someone who would measure these values.**

This project allowed us to discover teamwork and the challenge it represents. We learned to organize and distribute work according to each person's skills. We could see that the roles assigned to us were not just titles and the work provided often went beyond what was required.

We especially had the opportunity to put into practice the knowledge we acquired during this year, in physics and electronics; we also went beyond our own learning since we also discovered programming. Thus, we could see how useful these skills could be.

This project is a fun and formative experience that prepares us for situations we will certainly encounter in our future professions.

Quant au calorimètre en lui-même, malgré son fonctionnement, plusieurs blocs peuvent être perfectionnés tels que l'apport de quantité de chaleur qui peut être encore plus automatisé, le design du calorimètre qui pourrait être revu et l'alimentation qui est à repenser.

Les contraintes rencontrées au cours du projet nous ont forcé à adopter un comportement professionnel en nous adaptant, à développer nos idées et laisser place à l'initiative.

Bibliographie

Nous remercions les enseignants de leur apport et leur solution parfois très utile.

Calorimétrie : <http://eduscol.education.fr/rnchimie/phys/kohl/Thermo/calorim.htm>

Montage thermistance : <http://www.worldofgz.com/electronique/recuperer-une-temperature-avec-un-arduino/> <http://www.worldofgz.com/wp-content/uploads/2013/11/ntcle100.pdf>

Isolation : <http://www.dessinemoiunemaison.fr/2011/395/laveriteisolantsminces.html>

Arduino/Peltier :

- Module Peltier Test : -<https://www.youtube.com/watch?v=x68j7y3IV2g> -<https://www.youtube.com/watch?v=cHlwAaD85to>
- <https://www.sparkfun.com/products/10080>
- <http://tomswiki.wetpaint.com/page/Peltier+%28TEC%29+Cooling>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect
- <http://bildr.org/2012/03/rfp30n06le>arduino/
- http://sparkfun.com/datasheets/Components/General/Peltier_Testing.pde
- <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=282954.0>
- <http://www.farnell.com/datasheets/1868820.pdf>
- <http://fr.farnell.com/fairchildsemiconductor/bc547b/transistorpnto92/>
- <http://www.farnell.com/datasheets/2003554.pdf>
- <http://fr.farnell.com/europeanthermodynamics/ap30702025/modulepeltier6-5vdc3w/dp/2519564?ost=module+pelletier&selectedCategoryId=&categoryId=700000005526>
- <http://www.farnell.com/datasheets/1918818.pdf>
- http://www.amazon.fr/SODIALATmega2560Microcontroleur-ArduinoModule/dp/B00OPO44UE/ref=sr_1_29?ie=UTF8&qid=1457108464&sr=829&keywords=arduino#productDetails