

CONCOURS CGENIAL 2021

Sonde à résistance thermique, économique et simple d'utilisation



Résiste c'est bon pour la planète !

Lien du rapport vidéo : <https://youtu.be/KqJ7TWrekHs>

BAUDRY Lilian / MATEOS-MARTIN Arthur / BLANDIN Sami

Professeur référent : Mr CLEMENCE



Résumé

Dans de nombreux pays en voie de développement, une des problématiques majeures est le manque d'isolation des bâtiments induisant une perte considérable d'énergie et donc une pollution accrue. Soucieux de ce problème, nous avons souhaité créer une sonde à résistance thermique simple d'utilisation et économique afin que les architectes et ingénieurs puissent simplement et à moindre frais étudier les différents matériaux à leur disposition pour sélectionner celui ou ceux qui seront les plus aptes à isoler un bâtiment. Pour ce faire, nous avons fabriqué plusieurs prototypes successifs, en cherchant tout d'abord à automatiser le processus de mesure et de calcul puis en cherchant à minimiser la taille de la machine afin que celle-ci puisse être facilement transportée et utilisée dans des lieux périlleux, tels qu'après les catastrophes naturelles, quand il faut reconstruire rapidement et efficacement des bâtiments vitaux.

Table des matières

Résumé	1
Introduction	3
I. PRINCIPE DE MESURE	3
A. Relations utilisées	3
B. Recherche de la qualité	5
1. Qualité métrologique	5
2. Relation d'incertitude	5
C. Température	5
1. Mesure	5
2. Source Chaude	6
3. Source Froide	6
D. Puissance	7
E. Epaisseur	7
F. Calcul final	8
G. Premier système	8
H. Incertitude visée	8
II. MISE EN PLACE	9
A. Prototype 1	9
1. Présentation	9
2. Failles	10
B. Prototype 2	10
1. Présentation	10
2. Failles	13
C. Prototype 3	13
1. Présentation	13
2. Failles	14
III. PERSPECTIVES	14
A. Amélioration des prototypes	14
IV. Conclusion	14
V. Remerciements	14
Annexe	15
A. Composant et prix du prototype 2	15
B. Composants et prix du prototype 3	16

Introduction

Dans les pays en voie de développement, une des problématiques actuelles des bâtiments est leur faible isolation, cela induit une énorme déperdition d'énergie lors de la tentative de maintien d'une température correcte à l'intérieur des bâtiments. Cette déperdition est compensée par une consommation excessive de ressources naturelles tel que le bois de chauffage entraînant une déforestation aggravée ou des énergies fossiles accélérant la disparition de ces ressources limitées et augmentant la pollution.

Une des solutions à ce problème est une meilleure isolation des bâtiments, cela se fait entre autre par une étude de la résistance thermique des matériaux employés, c'est-à-dire une mesure de la capacité de ce matériau à s'opposer aux flux de chaleur, plus cette résistance est élevée, plus le matériau est isolant. Pour ce faire, les architectes et ingénieurs utilisent une sonde à résistance thermique. En nous penchant sur ce problème d'isolation nous nous sommes rendu compte que la plupart des sondes disponibles sur le marché sont d'une certaine complexité technique et avoisinent les 800 €, une somme bien trop importante pour être employée dans les pays en voie de développement de manière efficace. C'est pourquoi nous avons décidé de créer une sonde à résistance thermique accessible au niveau du prix mais aussi de la prise en main.

Cette dernière pourrait donc être massivement déployée dans les pays en nécessitant, et donc permettre une amélioration des conditions de vies des habitants, qui pourront donc plus aisément se protéger des variation du climat en construisant des bâtiments mieux isolés, et cela à moindre coût et sans expertise trop poussée, mais également avoir un impact écologique important que ce soit au niveau des énergies fossiles que de la déforestation. Nous avons donc commencé à entrer en contact avec l'ONG Architecte de l'Urgence, reconstruisant des bâtiments dans le monde après les catastrophes naturelles, afin d'avoir leur retour sur notre projet. De plus, notre sonde pourrait également équiper les groupes scolaires pour des expériences scientifiques.

Nous allons donc, dans un premier temps, nous pencher sur le principe de mesure de la résistance thermique avant de nous intéresser au prototypage de la machine afin de pouvoir l'utiliser aisément.

I. PRINCIPE DE MESURE

A. Relations utilisées

La résistance thermique R s'écrit comme le quotient de l'épaisseur e du matériau testé par le coefficient de conductivité thermique λ de celui-ci.

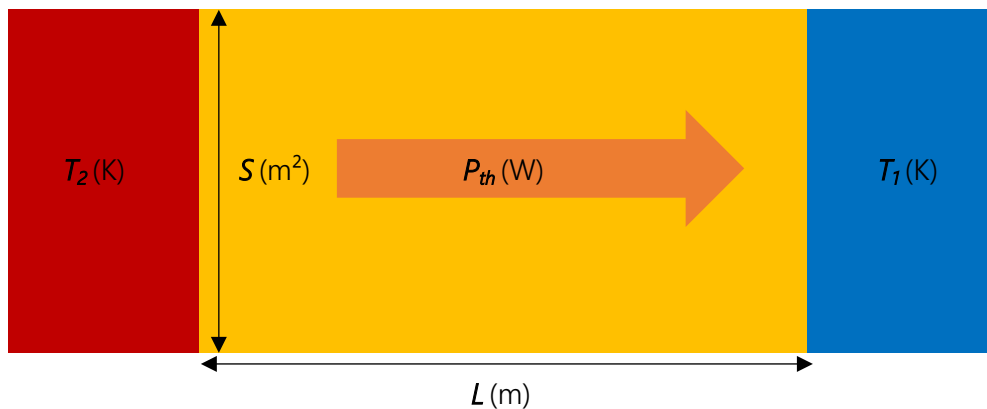
$$\begin{array}{ccc} \text{Resistance} & \longrightarrow & R = \frac{e}{\lambda} \\ \text{thermique} & & \longleftarrow \text{Epaisseur du} \\ (\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}) & & \text{matériau (m)} \\ & \uparrow & \\ & \text{Coefficient de conductivité} & \\ & \text{thermique (W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) & \end{array}$$

Le calcul de la résistance thermique surfacique nécessite le coefficient de conductivité thermique, il correspond à la capacité du matériau à conduire la chaleur, plus la conductivité est faible, plus grand est le pouvoir isolant du matériau.

Afin de mesurer ce coefficient, on place le matériau à tester d'épaisseur L entre une plaque froide de température T_1 et une plaque chaude de surface S et de température T_2 , on a donc un gradient de température ΔT entre les

Compte rendu THERMICK

deux plaques. On mesure ensuite la puissance P_{th} s'échappant de la plaque chaude, c'est-à-dire la puissance nécessaire pour maintenir la température de la plaque chaude constante malgré la déperdition de chaleur due au matériau.



Représentation schématique des composant du coefficient de conductivité thermique

$$\lambda = \frac{P_{th} \times L}{S \times \Delta T}$$

Diagramme explicatif de la formule de conductivité thermique λ :

- P_{th} (W) : Puissance s'échappant de la plaque
- L (m) : Epaisseur du matériau
- S (m²) : Surface de la plaque chaude
- ΔT (K) : Différence de température
- λ (W.m⁻¹.K⁻¹) : Coefficient de conductivité thermique

Par comparaison, la conductivité thermique d'une brique en céramique est de 0,45 W.m⁻¹.K⁻¹, celle de la laine de verre est de 0,030 W.m⁻¹.K⁻¹. Cela signifie que pour une cloison de 10 cm, la résistance thermique de cette cloison faite en brique sera de 0,22 m².K.W⁻¹, tandis que cette même cloison en laine de verre aura une résistance thermique de 3,33 m².K.W⁻¹. Une cloison en laine de verre sera donc **15 fois** plus isolante qu'une cloison en brique.

Maintenant que nous connaissons les relations que nous allons utiliser, nous devons définir la manière dont nous allons nous assurer de la qualité de nos mesures.

B. Recherche de la qualité

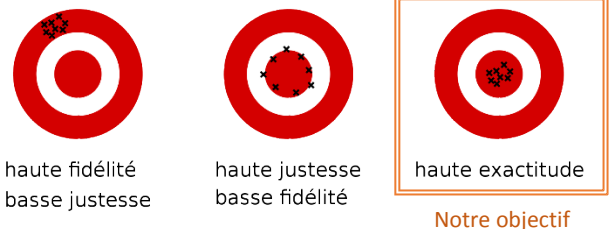
1. Qualité métrologique

Scientifiquement, un appareil de mesure est dit **exact** s'il est à la fois **juste**, **fidèle** et **précis**.

La **justesse** correspond à l'aptitude de l'appareil à donner des résultats qui ne sont pas entachés d'erreur c'est-à-dire dans le cas d'un grand nombre de mesures à l'écart entre le résultat moyen de la mesure et le vrai résultat.

La **fidélité** est l'aptitude d'un appareil de mesure à donner des mesures exemptes d'erreurs accidentelles, il définit la dispersion des résultats.

La **précision** correspond au nombre de chiffres significatifs que l'appareil de mesure est capable d'afficher.



Représentation symbolique de la fidélité, la justesse et l'exactitude.

2. Relation d'incertitude

Maintenant que nous savons que notre mesure doit être exacte, nous devons pouvoir calculer l'incertitude de notre mesure $\frac{U(\lambda)}{\lambda}$. Cette dernière est composée de plusieurs mesure, elle correspond donc à la racine carrée des sommes des carré des incertitudes des différents composants de cette mesure. Nous devons donc calculer l'incertitude de la **surface**, la **puissance**, l'**épaisseur** et la **différence de température**.

- L'incertitude de la **surface** $U(S)$ correspond au double de l'incertitude de la longueur L . Soit : $U(S) = 2 \left(\frac{U(L)}{L} \right)^2 = \sqrt{2} \frac{U(L)}{L}$
- L'incertitude de la **puissance** $U(P_m)$ nous est donnée par la datasheet de l'INA 219 ([cf. D. Puissance](#))
- L'incertitude de l'**épaisseur** $U(e)$ correspond à la précision du moteur pas à pas utilisé ([cf. E. Epaisseur](#)), ainsi qu'à la précision du pied à coulisse utilisé pour étalonner le moteur.
- L'incertitude de la **différence de température** $U(\Delta T)$ est composée de l'incertitude de la température de la **plaque chaude** $U(T_C)$, de l'incertitude de la température de la **plaque froide** $U(T_F)$, ainsi que de l'incertitude du thermomètre utilisé lors de l'étalonnage. Soit : $U(\Delta T) = \sqrt{U(T_C)^2 + U(T_F)^2}$

On peut donc en déduire la relation d'incertitude qui guidera le projet vers la meilleur mesure possible (c'est-à-dire celle qui aura la plus faible valeur d'incertitude) :

$$\frac{U(\lambda)}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{U(P_m)}{P_m} \right)^2 + \left(\frac{U(\Delta T)}{\Delta T} \right)^2 + \left(\frac{U(e)}{e} \right)^2 + \left(\frac{U(S)}{S} \right)^2}$$

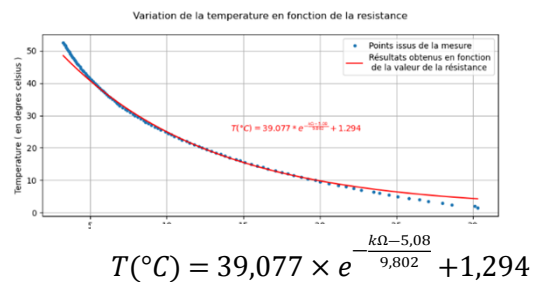
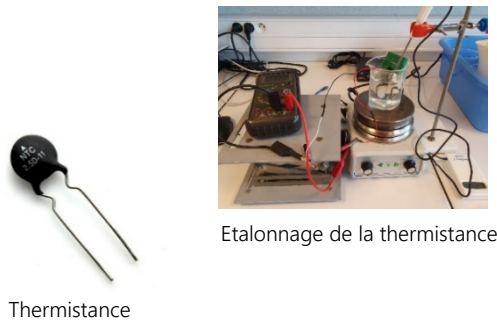
C. Température

1. Mesure

Pour obtenir une mesure de la température, nous devons fabriquer un thermomètre électronique, celui-ci est composé d'une **thermistance**, un composant électronique dont la résistance électrique varie en fonction de la température à laquelle il est soumis, ainsi que d'un microcontrôleur ([cf. F. Calcul final](#)).

Compte rendu THERMICK

Afin de connaître la fonction définissant la température en fonction de la résistance nous avons dû effectuer un étalonnage de la thermistance entre 0 et 50 °C. Pour ce faire nous avons plongé cette dernière dans de l'eau à diverses températures et relevé les valeurs de la résistance grâce à un multimètre. Cela nous a permis d'obtenir le graphique suivant et d'en tirer la fonction désirée, en effet comme on peut le voir sur celui-ci, la fonction modèle (en rouge) et la courbe des mesures expérimentales (points bleus) sont superposées sur la zone de température à exploiter dans l'appareil (6-22 °C)



2. Source Chaude

Afin d'obtenir une différence de température optimale, nous avons besoin d'une plaque à une température fixe légèrement au-dessus de la température ambiante, pour cela nous avons opté pour une **résistance chauffante**, un composant électronique produisant de la chaleur, grâce à l'effet Joule, quand il est soumis à un courant électrique, piloté par un relais, puis plus tard par un transistor couplé à une PID pour un asservissement beaucoup plus stable (cf. [II. B. 1 Présentation](#)), afin de pouvoir asservir complètement ce composant en pouvant faire varier la puissance absorbée par la plaque chauffante à notre guise, à l'inverse du relais qui fonctionne en « tout ou rien », ce dernier étant piloté par le microcontrôleur (cf. [F. Calcul final](#)). Ce système nous a permis d'obtenir une valeur assez proche de la consigne même si cet asservissement était dit « instable » lors de l'utilisation avec les relais, car la valeur obtenue oscillait autour de la valeur de consigne.

On peut donc définir l'incertitude de température : $U(T_C) = U(T_F) = 0,5^{\circ}C$

Pour une différence de température $\Delta T = 17^{\circ}C$, on peut donc calculer l'incertitude d'après la relation d'incertitude (cf. [B. 2. Relation d'incertitude](#)) :

$$U(\Delta T) = \sqrt{U(T_C)^2 + U(T_F)^2} = \sqrt{(0,5)^2 + (0,5)^2} = 0,7^{\circ}C$$



Résistance chauffante

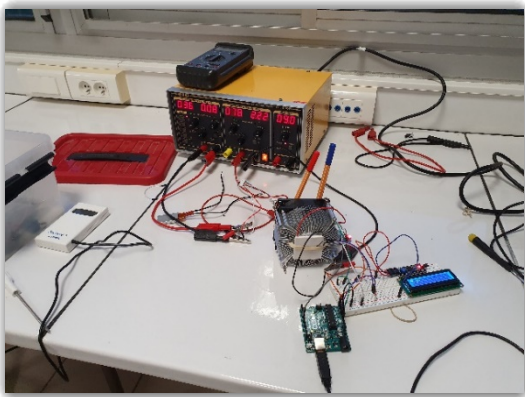
3. Source Froide

La solution qui sembla la plus pertinente pour obtenir une plaque froide fut une **plaque de Peltier**, c'est-à-dire une plaque réagissant à ce que l'on appelle l'effet Peltier, piloté, comme la résistance chauffante, par le microcontrôleur.

Cet effet, découvert en 1834 par le physicien Jean-Charles Peltier est un effet thermoélectrique consistant en un phénomène physique de déplacement de chaleur en présence d'un courant électrique, en d'autres termes, l'un des côtés de la plaque se refroidit pendant que l'autre se réchauffe. Cet effet est également la réciproque de l'effet Seebeck, définissant qu'une différence de température engendre un potentiel électrique. L'effet Peltier est principalement utilisé comme technique de réfrigération dans des domaines où une grande précision et fiabilité

Compte rendu THERMICK

sont demandés tel que la recherche, spatial, militaire, etc. Nous utiliserons ici cet effet afin de contrôler avec précision la température de notre plaque.



Premier essai de la plaque de Peltier : Alimentation de 7,2 V Température de 8 °C

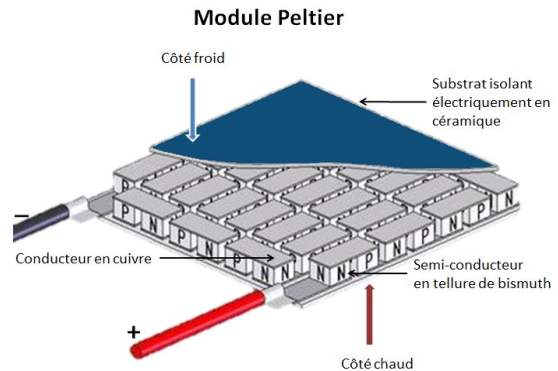
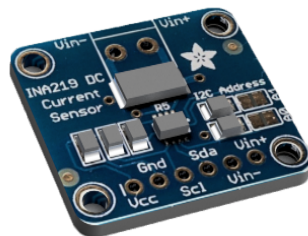


Schéma d'une plaque de Peltier

D. Puissance

Afin de mesurer la puissance nécessaire au maintien de la température, nous utilisons un **module INA 219**, c'est un composant électronique se branchant en série sur le circuit de la résistance chauffante et qui mesure l'intensité et la tension du courant aux bornes de celle-ci, ce qui permet, par produit de ces deux valeurs de calculer la puissance nécessaire pour maintenir la température de la plaque chaude constante malgré la déperdition de chaleur due au matériau. Ce module est fourni avec une documentation ce qui nous a permis d'obtenir simplement l'incertitude de la mesure de puissance, en effet nous savons que l'incertitude

$$\frac{U(P_m)}{P_m} = 2 \times 10^{-2}$$

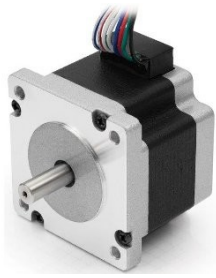


Module INA 219

E. Epaisseur

Pour connaître l'épaisseur du matériau pris entre les deux plaques chauffantes, nous avons utilisé un **moteur pas à pas** couplé avec une **jauge de contrainte**, le moteur pas à pas est un moteur très précis, et la jauge de contrainte est un composant électronique générant un très faible potentiel en fonction de la contrainte qui y est appliqué, nous devons donc l'amplifier. Pour ce faire nous utilisons un **amplificateur analogique** : le module HX711. Dans notre système, le matériau est placé sur une des plaques, le moteur pas à pas, disposé dans une position haute connue grâce à un capteur de fin de course, permettant de connaître la distance exacte le séparant de la plaque froide, fait descendre la seconde plaque jusqu'à ce que la jauge de contrainte indique au microcontrôleur que le matériau est bien en contact avec les deux pièces, à ce moment-là le moteur s'arrête et nous avons connaissance de l'épaisseur du matériau grâce à la distance parcourue par le moteur.

Compte rendu THERMICK



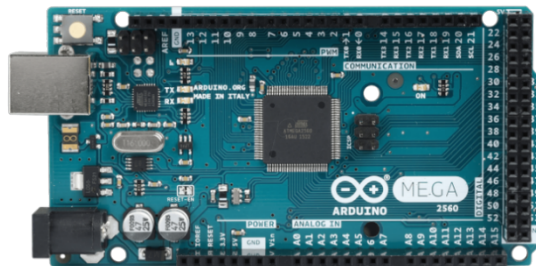
Moteur pas à pas



Jauge de contrainte

F. Calcul final

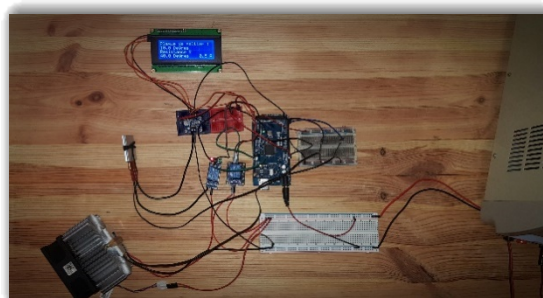
Afin d'obtenir une valeur finale de la conductivité thermique puis de la résistance thermique, mais également pour pouvoir afficher les résultats et automatiser l'ensemble de la procédure nous avons besoins d'un microcontrôleur. Nous avons opté pour l'**Arduino Méga** comportant suffisamment de port de connections pour notre projet, et produisant une intensité globale suffisante pour alimenter les relais. C'est dans celui-ci que nous avons rentré notre programme en C++ permettant d'automatiser les différentes mesures ainsi que le calcul de la résistance thermique.



Arduino Méga

G. Premier système

Une fois tous les composants achetés, pour un totale d'environ 75€, et les différents étalonnages et tests unitaires effectués nous avons mis en place un premier système.



Premier système fonctionnel

Celui-ci nous a permis de vérifier que l'ensemble fonctionnait correctement avant de mettre en place un premier prototype.

H. Incertitude visée

Maintenant que nous connaissons les différents composants de notre machine, nous pouvons calculer l'incertitude à laquelle nous pouvons et nous chercherons à tendre :

Compte rendu THERMICK

D'après la relation d'incertitude ([cf. B.2. Relation d'incertitude](#)) et d'après les différents composants, nous avons :

- $U(P_m)$ et P_m nous sont donné par la datasheet de l'INA 219, donc $\frac{U(P_m)}{P_m} = 2 \times 10^{-2}$
- Dans les conditions de test, nous avons $T_C = 23,0^\circ\text{C}$ et $T_F = 6,0^\circ\text{C}$ donc une différence de température de $17,0^\circ\text{C}$.
 $U(\Delta T) = \sqrt{U(T_C)^2 + U(T_F)^2} = 0,7$ On peut donc donner : $\frac{u(\Delta T)}{\Delta T} = \frac{0,7}{17} = 0,041$
- $U(e) = 0,1 \text{ mm}$ et ici le matériau a une épaisseur $e = 10\text{mm}$, donc $\frac{U(e)}{e} = \frac{0,1}{10}$
- $U(S) = \sqrt{2} \frac{U(L)}{L}$ Avec $U(L) = 0,1\text{mm}$ et $L = 50\text{mm}$ donc $\frac{U(S)}{S} = \frac{0,056}{2500}$

On a donc finalement :

$$\begin{aligned}\frac{U(\lambda)}{\lambda} &= \sqrt{\left(\frac{U(P_m)}{P_m}\right)^2 + \left(\frac{U(\Delta T)}{\Delta T}\right)^2 + \left(\frac{U(e)}{e}\right)^2 + \left(\frac{U(S)}{S}\right)^2} \\ \frac{U(\lambda)}{\lambda} &= \sqrt{(2 \times 10^{-2})^2 + (0,041)^2 + \left(\frac{0,1}{10}\right)^2 + \left(\frac{0,056}{2500}\right)^2} \\ &= 4,7\%\end{aligned}$$

L'incertitude à laquelle nous devons tendre est donc de **4,7%**.

Nous remarquons ici que le **facteur le plus important**, et donc le plus influent dans le calcul, est **l'incertitude de température**. Nous voyons de plus que dans cette incertitude de température, c'est ΔT qui est le terme le plus important, c'est donc sur ce terme que nous devons travailler afin de minimiser l'incertitude de température et donc l'incertitude globale.

II. MISE EN PLACE

Maintenant que nous connaissons les diverses relations et mesures dont nous avons besoin pour connaître la résistance thermique des matériaux, nous devons fabriquer une machine permettant d'effectuer ces mesures et calculs le plus simplement et efficacement possible.

A. Prototype 1

1. Présentation

Le premier prototype que nous avons développé possède d'une base contenant la plaque de Peltier ainsi que l'Arduino et d'une glissière perpendiculaire à la base contrôlée par le moteur pas à pas sur laquelle se fixe la résistance chauffante.

Nous avons donc modélisé en 3D sous Inventor les différentes pièces nécessaires puis nous les avons imprimées grâce à une imprimante 3D une fois l'impression terminée, nous avons assemblé notre prototype. Parallèlement à cela nous avons écrit le programme du microcontrôleur, celui-ci mesure tout d'abord l'épaisseur du matériaux grâce moteur pas-a-pas et à la jauge de contrainte, puis le programme lance l'asservissement de la résistance et le refroidissement de la plaque de Peltier. Une fois les consignes atteintes le programme déclenche pendant 10 min le calcul de la puissance nécessaire pour maintenir la résistance chauffante à la bonne température, une

Compte rendu THERMICK

fois celle-ci obtenue, le programme calcule la conductibilité thermique puis la résistance thermique du matériau. Le système finit par afficher les résultats sur un écran LCD et propose de lancer une nouvelle mesure.



Modélisation Inventor du Prototype 1



Assemblage du Prototype 1

2. Failles

Au moment des premiers test de notre prototype, nous nous sommes rendu compte que **les valeurs affichées ne correspondaient pas à la réalité**, nous avons donc fait plusieurs test « à vide », c'est-à-dire sans matériaux à tester et nous nous sommes rendu compte que le prototype **mesurait** systématiquement une **puissance supérieur** de quelques Watts à ce qu'elle aurait dû en réalité mesuré, en effet sans déperdition de chaleur dû au matériau, la puissance nécessaire à maintenir la plaque chaude à température constante ne devrait pas être modifié. Nous en avons donc conclu que les erreurs de mesures étaient liées principalement à des **pertes thermiques**. Après une moyenne de mesures de la dissipation thermique, nous avons obtenu une déperdition de 792 J sur 10 minutes. Il devait donc y avoir un correctif de $1,00 \pm 0,06$ W à appliquer dans le calcul de la conductivité thermique dans le programme de ce prototype. En outre l'utilisation de 4 glissières, deux pour soutenir les tiges d'acier à la verticale et deux autres sur la partie mobile, combiné à une mauvaise fixation de la partie basse engendrait parfois une **déformation du bras** et une **surélévation** à l'avant de la plaque chauffante, empêchant un contact optimal entre la surface de la plaque et celle du matériau et modifiant également la mesure de l'épaisseur.

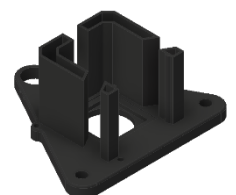
Nous avons, de plus calculé l'incertitude de nos mesures grâce à la relation d'incertitude ([cf. B.2. Relation d'incertitude](#)) et nous obtenons une incertitude de l'ordre de **8%** cependant la correction de la puissance est arbitraire, ce n'est pas l'idéal et ce n'est pas l'incertitude souhaitée (Proche de 0%).

B. Prototype 2

Compte tenu des problèmes précédemment soulevé nous avons décidé de modifier les parties mécanique, électrique, électronique et également thermique du précédent prototype.

1. Présentation

Tout d'abord, nous avons décidé, afin de limiter les pertes thermiques, d'isoler le matériau dans une **enceinte** la plus hermétique possible.

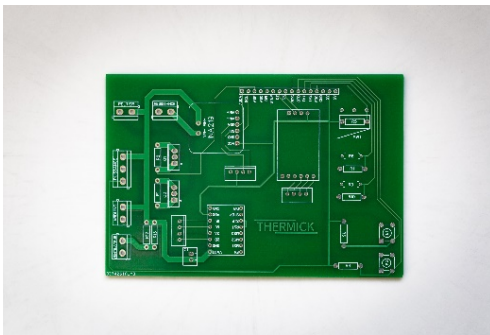


Modélisation 3D de l'enceinte

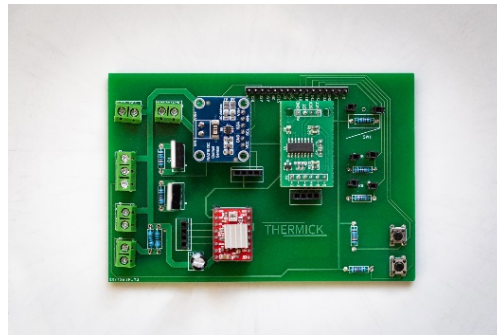
Compte rendu THERMICK

Ensuite nous avons cherché à résoudre le problème de surélévation de la plaque chauffante, pour ce faire nous avons modifié la forme du prototype, une **forme en triangle** permet d'augmenter la surface de contact entre la plaque chaude et le matériau. La pièce mobile translate toujours grâce au moteur pas à pas mais est désormais soutenue par deux glissières positionnées en triangle. Cette nouvelle forme permet également d'avoir un meilleur contrôle de la force apporté au matériau sans risque que le bras ne se déforme et modifie l'épaisseur du matériau.

Par la suite nous avons également amélioré la partie électronique grâce à la réalisation d'un **circuit imprimé**, permettant d'accueillir les différents capteurs présents afin d'éviter des erreurs de montage ou des faux contacts dus à des fils Dupont défectueux.



Circuit imprimé sans composant

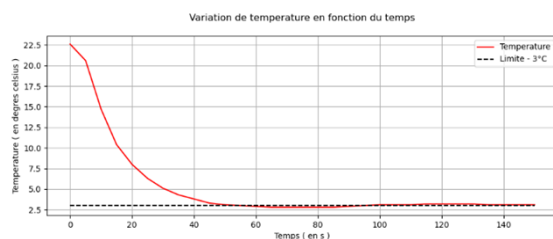


Circuit imprimé assemblé

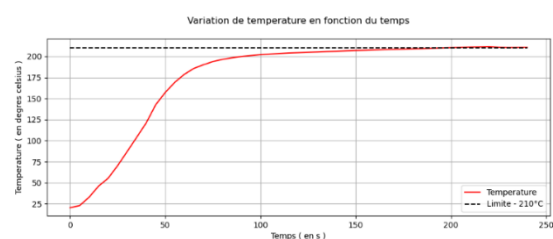


Modélisation 3D de la base et des glissières

Afin d'améliorer le contrôle de la température, nous avons mis en place un **correcteur PID d'ordre 2**, un système de contrôle permettant d'améliorer les performances d'un asservissement. Cela nous permettra d'avoir une meilleure stabilisation de la partie chaude du prototype et donc de supprimer les multiples dépassements de la consigne du relai. Pour ce faire nous avons étalonné, pour une tension de 12 V, la résistance chauffante et la plaque de Peltier avec la même ventilation que notre système, cela jouant beaucoup sur les performances de la plaque, et tracé les courbes correspondantes, puis nous en avons extrait les constantes nécessaires à la PID pour corriger les erreurs.

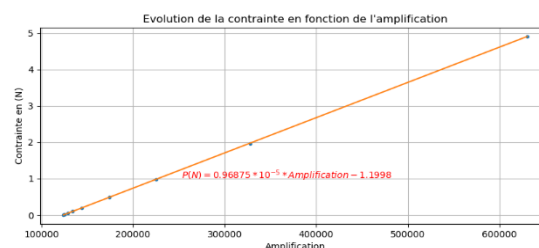


Etalonnage de la plaque de Peltier



Etalonnage de la résistance

Nous avons également **réétalonner** la jauge de contrainte afin d'obtenir des valeurs mesurées en Newton, cela étant mieux pour les études.



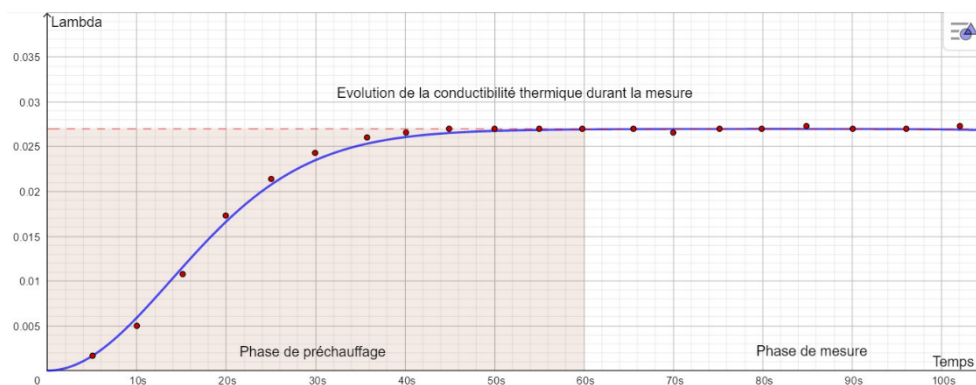
Réétalonnage de la jauge de contrainte

Compte rendu THERMICK

Après plusieurs tests, nous nous sommes aperçut que stabiliser la plaque chaude à une température plus proche de la **température extérieure** (+1°C) nous permettait de réduire et de quasiment annuler les pertes thermique (en plus du nouvel isolant) et là encore de nous donner des résultats plus proches des valeurs réelles sans avoir à appliquer un correctif sur l'énergie dissipée.

Ensuite nous avons **réécrit le programme** du microcontrôleur afin de pouvoir facilement modifier les températures d'asservissement, le temps entre les mesures de puissances, la contrainte exercé et d'autres constantes nécessaires au bon fonctionnement de celui-ci. Nous avons également implanté dans le programme une **interruption périodique**, ici la mesure de la puissance absorbée toute les 50ms, ce qui nous permet de mesurer très précisément la puissance absorbée par la résistance chauffante, via le module INA 219, sans pour autant avoir des conséquences sur le programme principal.

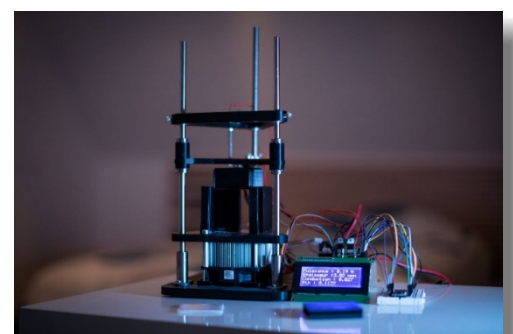
L'**interface utilisateur** a également été améliorée, l'utilisateur a désormais le choix entre différents temps de mesures : 5 min, 10 min ou 15 min ; ceci permettant d'avoir des mesures plus précises. L'affichage des résultats se fait désormais dynamiquement tout au long de la mesure, ce qui nous permet, entre autres, de confirmer qu'une période de préchauffage est nécessaire au bon fonctionnement du prototype.



Evolution de la conductivité thermique durant la mesure

● Valeurs issues de la mesure
— Courbe représentative

Finalement, nous avons un prototype entièrement **automatisé**, coutant environ 130€ (cf. [Annexe A. Composants et prix du prototype 2](#))



Prototype 2

2. Faibles

Malgré les améliorations apportés à ce nouveau prototype, tout d'abord, la forme en triangle, bien qu'augmentant la précision sur l'épaisseur n'est pas suffisante car la mesure de l'épaisseur du matériau **n'est pas assez précise**, une moyenne d'erreur de 0,1mm, ensuite la présence des thermistances positionnées sur les plaques de cuivre et non à l'intérieur, ne sont **pas assez représentatives** de la réelle température, 0,2°C de différence avec la réalité, de plus dans certaines conditions, comme par exemple une température ambiante trop élevée, notre prototype est donc **perfectible** car il nécessite une troisième thermistance, enfin, la taille de ce deuxième prototype est assez élevée, en effet le prototype mesure

Compte rendu THERMICK

20×20×30cm et l'électronique, à part, mesure 10×12×3cm celui-ci est donc quelque peu **encombrant** si il doit être utilisé dans des conditions de catastrophes ou si il doit être déplacé. Finalement, même si ce prototype corrige beaucoup d'erreurs comme l'isolation ou le programme, et améliore grandement les défauts qu'avait le prototype 1 comme l'épaisseur, la contrainte ou l'asservissement, la mesure dont la **précision** n'est pas jugée à la hauteur de nos objectifs, en effet nous avons calculé l'incertitude de ce prototype et nous trouvons une incertitude de 8% mais cette fois ci sans **aucune correction** ce qui est l'idéal, cependant, cela n'est toujours pas l'incertitude acceptable.

C. Prototype 3

Durant nos recherches et nos essais, notre professeur référent nous a proposé de créer une machine la plus simple possible, sans automatisation, afin d'obtenir des résultats à la hauteur de nos attentes, en embarquant avec nous toutes les avancées acquises durant le projet. Nous avons donc rapidement fait un premier prototype pour voir si cela pouvait être envisageable. Les résultats étant concluants, nous nous sommes donc mis à créer un 3^{ème} prototype plus **compact** même si cela devait entrainer une diminution de l'automatisation.

1. Présentation

Ce nouveau prototype est assez différent du précédent dans la forme mais aussi dans le fonctionnement.

Tout d'abord sa **taille**, en effet il ne mesure que 20x15x15cm lors de son déploiement entier, rendant son transport beaucoup plus facile.

Cependant cette taille induit une diminution de la taille des composants, nous avons décidé que l'utilisateur réglera lui-même la descente de la plaque chaude sur le matériau à tester. Et rentrera manuellement son épaisseur grâce à un **encodeur rotatif**, ainsi qu'une **manivelle**.

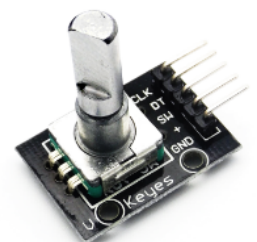
Ayant échangé les relais par des transistors, donc ne nécessitant pas d'une intensité élevée, et ce prototype n'ayant pas besoin de contrôler un moteur, nous avons pu utiliser un microcontrôleur de plus petite taille, l'**Arduino NANO**

Nous avons donc quelque peu modifié le **programme** informatique pour intégrer l'encodeur rotatif. Mais également amélioré l'interface utilisateur, en effet, désormais si un ordinateur est à proximité, le prototype peut être branché à ce dernier, permettant de rendre plus agréable la lecture et l'analyse des informations, affichées en temps réel sur l'ordinateur. L'écran du prototype, ayant certaines latences au niveau du chargement des menus pendant les mesures (mis en place pour éviter de ralentir le programme), devient alors facultatif.

Une fois la modélisation terminée, nous avons imprimés en 3D l'ensemble des pièces pour un total de 400 grammes de plastiques et pour un coût de moins de 5€. Nous avons ensuite procédé au montage du prototype. Si ce dernier est concluant, nous désirons proposer **tous les fichiers nécessaires** à sa création en **téléchargement libre** et faire le maximum pour que la duplication de ce prototype par les gens en ayant besoin soit le plus **simple** possible. Finalement la réalisation du prototype 2 coûte 100 € (cf. [Annexe B. Composants et prix du prototype 3](#))

2. Failles

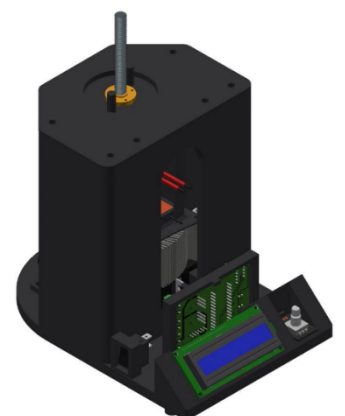
Ce troisième nous donne des résultats précis, en effet lors de nos tests, le prototype a mesuré une résistance thermique de 0,10 m².K.W⁻¹ avec un



Encodeur rotatif



Arduino NANO



Modélisation Inventor du prototype 3

préchauffage de 45sec, pour une plaque de depron de 3mmle depron, une matière plastique utilisée pour l'isolation, sa valeur réelle est de $0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ indiquant une très bonne précision de cette machine. L'incertitude calculée de ce prototype est de moins de 6%, une amélioration en comparaison des précédents prototypes. Ce prototype ne présente donc **aucune faille majeure** et est donc **concluant**.

III. PERSPECTIVES

A. Amélioration des prototypes

A l'avenir, nous désirerions tout d'abord améliorer notre prototype 2 afin de créer une machine entièrement **automatique et fiable**. Ensuite nous aimerions proposer une étude des matériaux sous différentes conditions, tout d'abord en simulant un **cycle jour-nuit** grâce au changement de température, puis en étudiant la résistance thermique des matériaux en fonction de la **contrainte** qui y est appliqué.

IV. Conclusion

Durant ce projet, nous avons pu créer une machine permettant de mesurer la résistance thermique des matériaux de manière simple et économique, pour ce faire nous avons tout d'abord **découvert** les relations de conductivité et de résistance thermique, puis l'effet Peltier qui nous a permis de refroidir une plaque pour notre étude, nous avons également **appris** à utiliser différents outils comme ceux de modélisation ou de programmation qui nous servirons assurément à l'avenir, nous avons **améliorer nos compétences** en électronique et en mécanique.

Ce projet nous a, pour la plupart, conforté dans notre **projet d'orientation**, en effet nous sommes tous passionnés par les **nouvelles technologies**, et c'est dans ce domaine que nous aimerions prolonger nos études avec des **classes préparatoires** en PTSI, MPSI et MP2I

Nous avons de plus appris à nous **organiser**, à **travailler en groupe**, à se répartir les tâches efficacement pour atteindre nos objectifs, nous avons surtout appris à nous **dépasser**, à toujours chercher à **améliorer** ce que nous avons fait et à avoir **confiance en nous**. Nous espérons donc pouvoir vous montrer tout le **potentiel** de ce projet lors de la **finale nationale** du concours **CGenial** !

Nous espérons que ce projet permettra **d'améliorer** les **conditions de vies** des habitants des pays en développement en leur permettant de mesurer simplement et efficacement la résistance thermique des matériaux qu'ils emploient.

V. Remerciements

Nous tenions à remercier Mr Clémence notre professeur référent pour son aide et ces conseils plus que précieux tout au long du projet.

Nous voudrions également remercier le personnel de laboratoire du lycée Eiffel pour leur disponibilité.

Annexe

A. Composants et prix du prototype 2

Matériel	Prix	Lien
Filament imprimante 3d	5,00 €	
Ecran LCD 16*2	7,99 €	Amazon
Thermistance 10k	7,99 €	Amazon
Ventilateur ARCTIC F8	3,99 €	Amazon
Dissipateur Thermique	5,99 €	
Plaque de Peltier	7,99 €	Amazon
Résistance de puissance	7,38 €	Amazon
Transistor de puissance	3,67 €	Amazon
Arduino Nano	5,81 €	Amazon
Fil Dupont	3,89 €	Amazon
Alimentation	17,29 €	Amazon
Abaisseur de tension	6,99 €	Amazon
Encodeur	5,79 €	Amazon
Résistances 10kOhms	2,33 €	Amazon
Plaque de cuivre	7,99 €	Amazon
INA 219	2,86 €	Amazon
Circuit imprimé	4,97 €	JLCPCB
Jauge de contrainte	6,30 €	Amazon
Moteur pas-à-pas	13,59 €	Amazon
Capteur de fin de course	3,94 €	Amazon
Total	131,75 €	

B. Composants et prix du prototype 3

Matériel	Prix	Lien
Filament imprimante 3d	5,00 €	
Ecran LCD 16*2	7,99 €	Amazon
Thermistance 10k	7,99 €	Amazon
Ventilateur	3,99 €	Amazon
Dissipateur Thermique	5,99 €	
Plaque de Peltier	7,99 €	Amazon
Résistance de puissance	7,38 €	Amazon
Transistor de puissance	3,67 €	Amazon
Arduino Nano	5,81 €	Amazon
Fil Dupont	3,89 €	Amazon
Alimentation	17,29 €	Amazon
Abaisseur de tension	6,99 €	Amazon
Encodeur	5,79 €	Amazon
Résistances 10kOhms	2,33 €	Amazon
INA 219	2,86 €	Amazon
Circuit imprimé	4,97 €	JLCPCB
Total	99,93 €	