

MAIRESSE Rémi  
ROUX GUSTAVE

**SOUS-CHAUSSURE CHAUFFANTE POUR  
DOCKER**

Professeurs référents : M. Redon, M. Boé et M. Vantroys

<h2>Sommaire</h2>
-------------------

### I- Remerciements

### II- Introduction

- 1) Un problème d'adhésion
- 2) Cahier des charges
- 3) Etude de l'existant

### III - Développement

- 1) Programmation
  - a) Arduino et capteurs de température
  - b) Caméra thermique : Kinect
  - c) Problèmes rencontrés et solutions
- 2) Electronique
  - a) Circuit électronique
  - b) PCB
  - c) Problèmes rencontrés et solutions
- 3) Mécanique
  - a) Semelles
  - b) Boîtier de stockage
  - c) Problèmes rencontrés et solutions

### IV- Améliorations possibles

### IV- Conclusion

- 1) Adhésion résolue
- 2) Apports du projet
- 3) Rendu final

## Remerciements

Tout d'abord, nous souhaitons remercier Monsieur Xavier REDON, Monsieur Alexandre BOE et Monsieur Thomas VANTROYS pour leur accompagnement tout au long du projet.

Ensuite, nous voulons remercier Monsieur Thierry FLAMANT pour son aide et ses précieux conseils qui nous permis de mener à bien notre projet

Enfin, nous souhaitons remercier tous les étudiants qui ont pu nous conseiller ou nous apporter de l'aide durant ce semestre.

## II- Introduction

### 1) Un petit problème d'adhésion

Jean-Yves travaille sur la plateforme multimodale de Dourges depuis maintenant 17 ans. Son travail consiste à assurer la bonne coordination et le déchargement des porte-conteneurs. Il passe beaucoup de temps dehors. Il y a 4 ans, il a eu une urgence sur un des ponts de la plateforme. Dans la précipitation, il a glissé sur une plaque métallique gelée. 2 mois d'arrêt de travail s'en sont suivis à cause d'une hanche cassée. Après étude, l'entreprise s'est retrouvée confrontée à un problème qu'elle ne savait pas palier et qui devenait malheureusement récurrent.

En effet, la loi oblige les ouvriers à travailler avec des chaussures de sécurité, un casque, des gants... Cependant, l'hiver, quand la température chute, le caoutchouc antidérapant des chaussures de Jean-Yves durcit et perd son effet antidérapant. Les responsables de la plateforme multimodale ont donc décidé d'investir pour concevoir une sous-chaussure chauffante.

### 2) Cahier des charges

Dans ce projet nous avons donc défini le cahier des charges à partir du problème posé précédemment.

Tout d'abord la priorité était d'avoir un réglage automatique de la température de la semelle. L'utilisateur ne devra donc pas modifier la température en fonction de la semelle. L'avantage de cette fonction est tout d'abord que la personne utilisant ces chaussures ne doit pas se soucier de la température extérieure lors de son utilisation. Dans un second temps, la semelle ne sera pas abîmée par une surchauffe du fil car le système assurera une température qui ne dégradera pas la chaussure.

Ensuite la taille de la semelle doit être adaptée pour un pied moyen d'homme. Le prototype sera donc basé sur une pointure 42/43.

Nous avons aussi établi que le bloc batterie comprendra le circuit électronique et la batterie : ce boîtier devra venir se fixer derrière le mollet de l'utilisateur à l'aide de scratch ou venir se poser dans une poche basse du pantalon.

Par ailleurs, la semelle s'attachera grâce à des scratch au niveau de la cheville et du bout du pied.

Enfin l'autonomie du système sera d'environ 2h30 voire 3h afin de garder la semelle à la bonne température durant une demie journée de travail.

### 3) Etude de la concurrence

Avant de commencer le projet, nous avons donc regardé ce qu'il se fait déjà sur le marché. Tout d'abord, si l'on recherche des concurrents directs (c'est à dire, qui réalisent le même produit que l'on veut fabriquer) nous n'en avons pas trouvé car ce n'est pas un produit qui existe.

Dans un second temps si l'on regarde les concurrents indirects (qui répondent à la même problématique par d'autres moyens), nous pouvons nous arrêter sur les producteurs de semelles chauffantes afin de garder le confort de l'utilisateur. Cependant, la fonction de l'objet n'est pas de garantir la sécurité de la personne l'utilisant. La principale technologie utilisée est l'électronique et soit le circuit chauffant est dans une chaussette soit dans une semelle à glisser dans la chaussure. Cependant il y a très peu de produit qui possèdent une régulation automatique.

### III- Développement

#### 1) Partie programmation

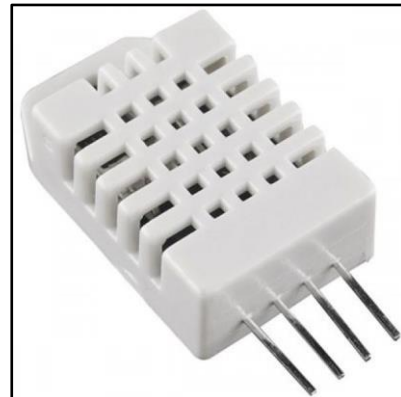
##### a) Arduino et capteurs de température

Comme indiqué précédemment, nous avons réglé la température dans notre semelle grâce à la température relevée par deux capteurs : des DHT22.

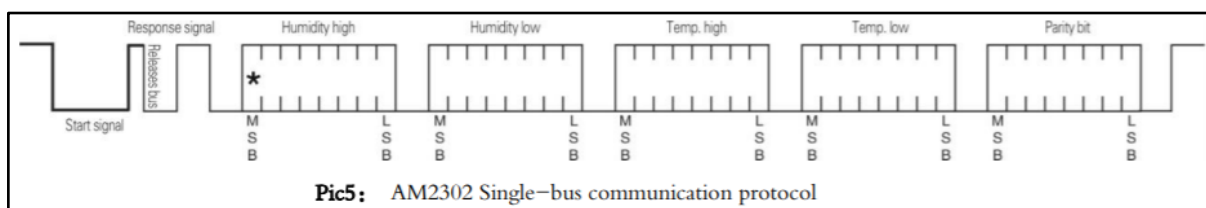
La sonde DHT22 est une des sondes les plus classiques lorsque l'on souhaite mesurer une température avec un minimum de fiabilité. Nous n'avons pas pu utiliser la DHT11 car elle est moins précise, et ne mesure pas les températures négatives.

Notre sonde DHT22 a les spécifications suivantes :

- Entre 3 et 5V en entrée
- Lecture de l'humidité entre 0 et 100% avec une précision allant de 2% à 5%
- Lecture de la température de -40°C à 80°C avec une précision d'environ 0.5°C



Nous nous servons uniquement de la température. Elle est récupérée sur le PIN 2. Il s'agit d'un bus de données de cette forme :



L'Arduino va récupérer ce bus de données et le convertir en une température en °C.

Dans notre cas, nous avons décidé de placer 2 capteurs par semelle puis faire une moyenne pour une plus grande précision. Le programme inséré dans l'Arduino a donc pour rôle d'effectuer la moyenne des deux capteurs, et de comparer cette valeur moyenne à des seuils. Pour les tests, nous avons laissé les seuils aux alentours de 20°C (la température des salles de classe) mais pour le rendu final. Nous avons défini 2 seuils : -5°C et 5°C.

Notre Arduino va commander, en sortie, un transistor MOSFET pour pouvoir régler la force de chauffe. Pour cela nous avons utilisé un PWM, qui est une fonctionnalité disponible dans une carte Arduino. La fonction de PWM va hacher la tension de sortie de l'Arduino avec un rapport cyclique variable.

C'est à dire qu'en deçà de ce premier seuil, le rapport cyclique du PWM est élevé (il faut chauffer beaucoup). Entre les 2 seuils, il faut chauffer légèrement. Le rapport cyclique du PWM sera donc plus faible. Au-delà du seuil de 5°C, nous continuons à chauffer légèrement pour compenser uniquement la température extérieure. Les PWM sont défini avec une valeur comprise entre 0 et 255.

Nous avons donc défini ces 3 rapports cycliques : 230 (soit 90%), 153 (soit 60%) et 102 (soit 40%).

Vous trouverez donc le programme Arduino définitif en Annexe 1

#### b) Kinect et caméra thermique

Dans cette partie nous allons parler de la programmation de la kinect.

Tout d'abord, nous avons eu l'idée de la caméra très tard durant notre projet ce qui ne nous a pas permis de réaliser entièrement cette tâche qui était supplémentaire.

Après quelques recherches, nous avons pu voir qu'il était possible de programmer la kinect afin d'utiliser uniquement la caméra infrarouge.

Il fallait donc télécharger un IDE afin de lancer le programme sur la kinect et utiliser la caméra.

Cependant, lorsque l'on lançait le programme, le pilote de la kinect se désinstallait. Nous avons donc essayé quelques modifications mais rien ne se passait.

Cette partie étant supplémentaire, nous avons préféré passer du temps sur la conception électronique et laisser de côté la partie de la programmation de la kinect.

Après avoir réessayé, nous avons réussi à obtenir une image uniquement filmée avec la caméra IR mais celle-ci ne différencie pas les sources chaudes des sources froides.

(La photo ci-dessous est prise dans le noir)



### c) Problèmes et solutions

Pour la partie programmation, nous n'avons pas eu de complications majeures. Nous sommes assez rapidement arrivés à notre programme final. La seule problématique que nous avons dû palier et qui sera expliquée dans la partie suivante, est la tension de sortie de l'Arduino. En effet, nous pensions qu'en alimentant notre Arduino en 5V, nous aurions un PWM de sortie qui aurait une valeur maximum de 5V or ce n'était pas le cas. Nous avons 3,3V crête à crête en sortie de l'Arduino.

Ce problème sera simplement pallié grâce à un AOP non-inverseur expliqué dans la partie suivante.

## 2) Partie électronique

### a) Schéma électronique

Notre schéma global a beaucoup évolué depuis le début de notre projet. En effet, beaucoup de choix ont dû être faits. Nous savions que nous aurions une tension de 3,3V découpée en fonction du PWM. Grâce à cette tension, nous devons chauffer plus ou moins notre fil résistif. Nous avons donc choisi d'utiliser un transistor MOSFET. Ce type de transistor est commandé en tension, ce qui est beaucoup plus pratique pour nous. Nous avons donc dû dimensionner ce transistor.

Le courant maximum délivré par la batterie choisie est de 2,1A. Par conséquent, nous avons eu besoin d'un MOSFET qui peut supporter un courant maximum Grille-Source de 2,1A. Par sécurité nous avons choisis ce courant maximum à 9,4A pour avoir une marge et éviter de faire fonctionner le composant dans ses conditions limites.

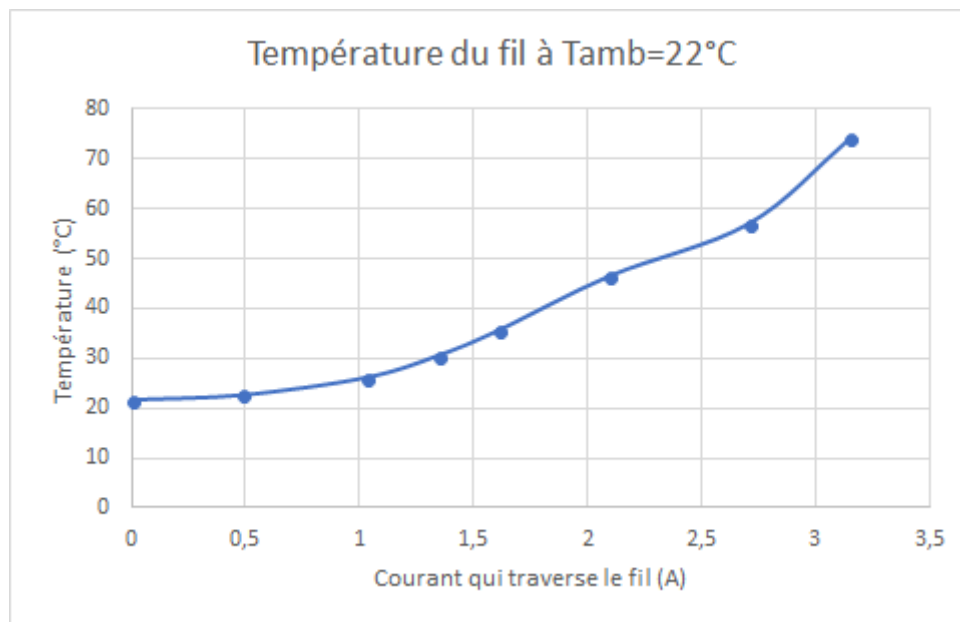
Pour commencer, nous avons réalisé des tests pour observer la température de notre fil résistif en fonction du courant qui le traverse.

Pour une température ambiante de 22°C, voici les résultats :

Tension affichée (V)	Tension calculée (V)	Intensité (A)	Mesure Température 1 (°C)	Mesure Température 2 (°C)	Température à 22 (°C)
		0	22	21	21,5
0,1	0,15288	0,49	22	23	22,5



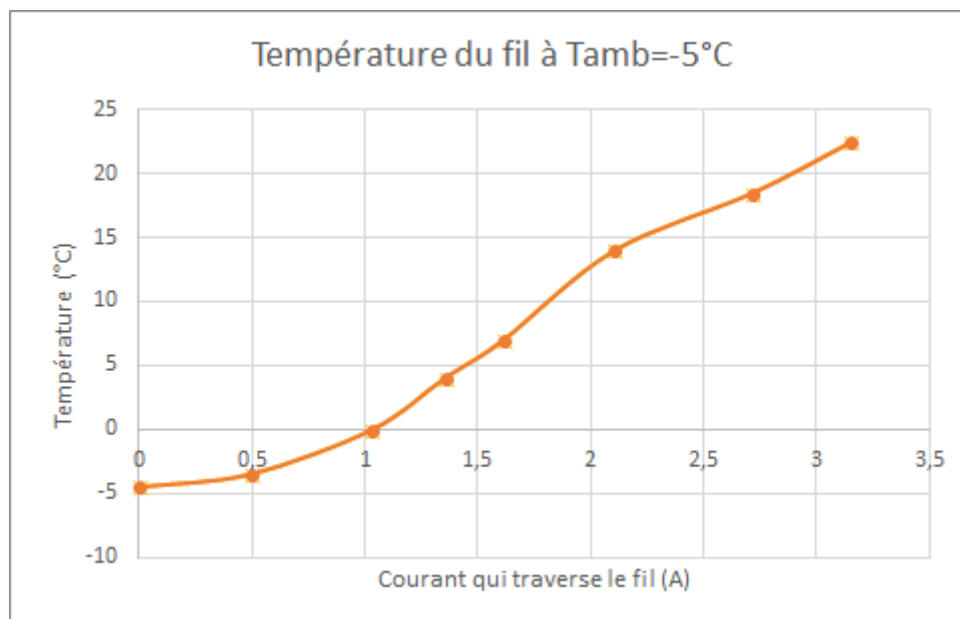
0,5	0,32136	1,03	27	25	26
0,8	0,4212	1,35	30	31	30,5
0,9	0,50232	1,61	36	35	35,5
1,1	0,6552	2,1	47	46	46,5
1,3	0,84552	2,71	59	55	57
1,4	0,9828	3,15	72	76	74



La partie intéressante de la courbe est celle qui va jusqu'à 2,1A, le courant maximum de sortie de notre batterie. A une température ambiante de 22°C, on a pu atteindre 46°C à 2,1A. Cependant, on utilisera nos semelles exclusivement en cas de température négative. Nous devons donc effectués ces mêmes mesures dans un endroit où la température ambiante se rapproche de -5°C. Nous avons donc réalisé ces mêmes tests dans un bac à glaçon d'un réfrigérateur. Sa température était de -4°C

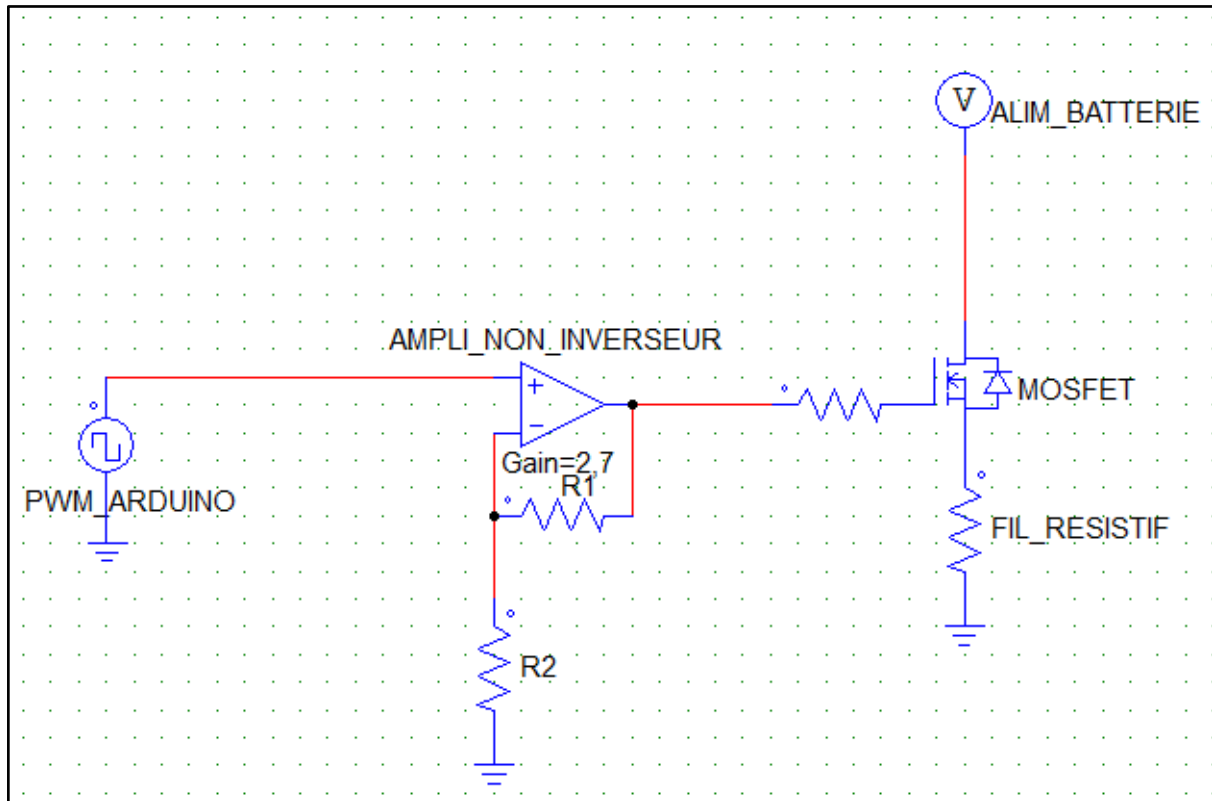
Voici les résultats obtenus :

Tension affichée	Tension calculée (	Intensité (A)	Mesure Température 1 (°C)	Mesure Température 2 (°C)	Température à -5 (°C)
0	0	0	-5	-4	-4,5
0,1	0,15288	0,49	-4	-3	-3,5
0,5	0,32136	1,03	-1	1	0
0,8	0,4212	1,35	4	4	4
0,9	0,50232	1,61	9	8	8,5
1,1	0,6552	2,1	14	14	14
1,3	0,84552	2,71	19	18	18,5
1,4	0,9828	3,15	23	24	23,5

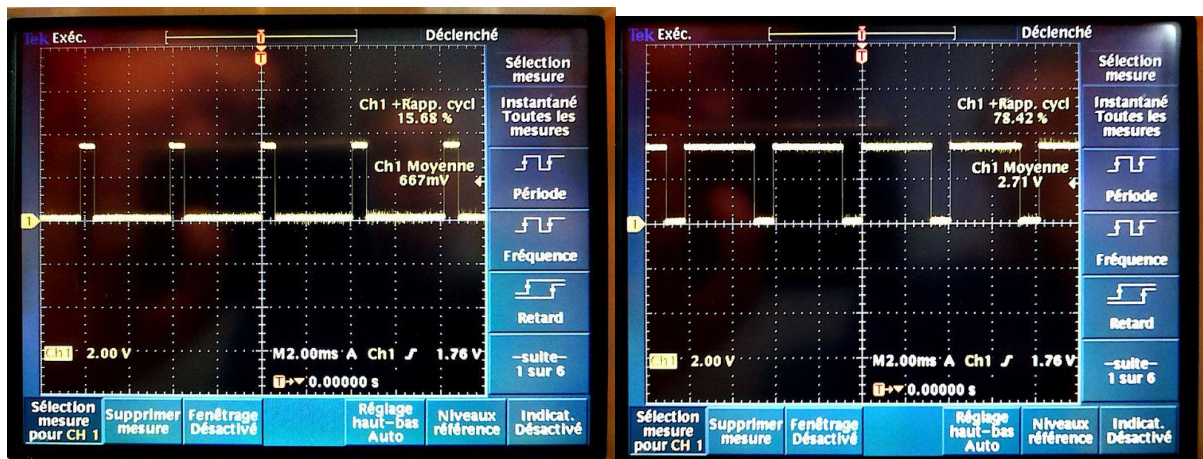


Nous avons donc pu en déduire que, à 2,1A, nous pouvons atteindre environ 15°C. Cette température est correcte car elle permet à la semelle de ne pas de rigidifier et de garder ses propriétés antidérapantes.

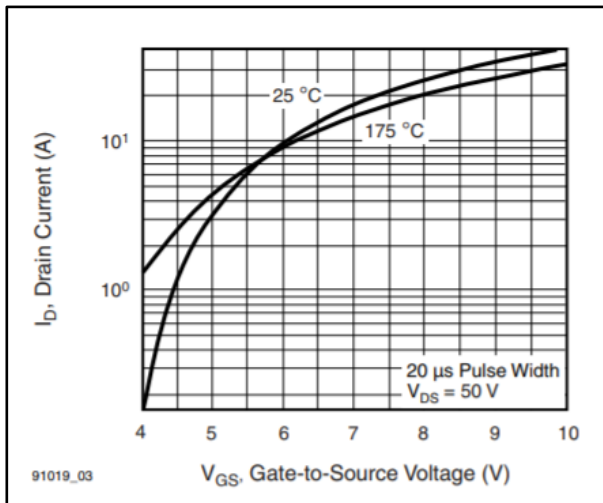
Une fois le fil testé et approuvé, nous avons réalisé ce montage :



La sortie de l'Arduino nous donne un signal haché qui dépend du rapport cyclique. Le signal de sortie est de ce type :



L'AOP sert à amplifier ce signal de sortie afin de commander le MOSFET dans sa partie linéaire. En effet, voici un extrait de la datasheet du MOSFET:



Dans notre cas, on alimente notre AOP avec une pile 9V. On peut donc amplifier le signal jusqu'à 9V, ce que l'on a fait grâce à un gain de 2,7.

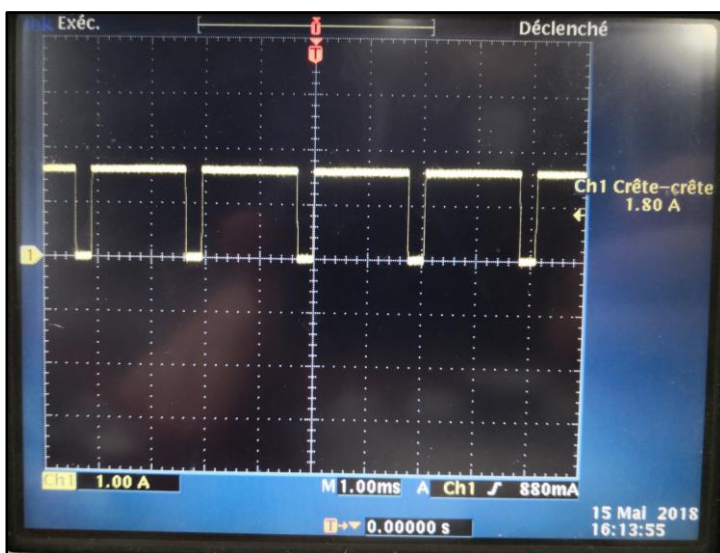
On peut effectivement constater qu'à  $V_{GS} = 9V$ , nous sommes sur un point de fonctionnement optimal pour le MOSFET

Pour obtenir un gain de 2,7, nous avons utilisé une résistance  $R1$  de  $1,8k\Omega$  et  $R2$  de  $1k\Omega$ . En effet, le montage réalisé est un amplificateur non-inverseur. Son gain est donc le suivant :  $V_s/V_e = 1$

+  $R1/R2$

Une fois le projet terminé, nous avons voulu vérifier réellement quel était le courant qui

circulait dans le fil résistif, voici donc la forme de ce courant :



On peut voir que le courant dans le fil résistif est de 1,8A maximum.

La valeur moyenne de ce courant variera donc en fonction du PWM.

On peut donc prévoir que, avec un rapport cyclique de 1, le fil pourrait atteindre  $10^\circ C$  à une température ambiante de  $-5^\circ C$ . A cette température, la semelle garde ses

propriétés antidérapantes et notre bûte est atteint.

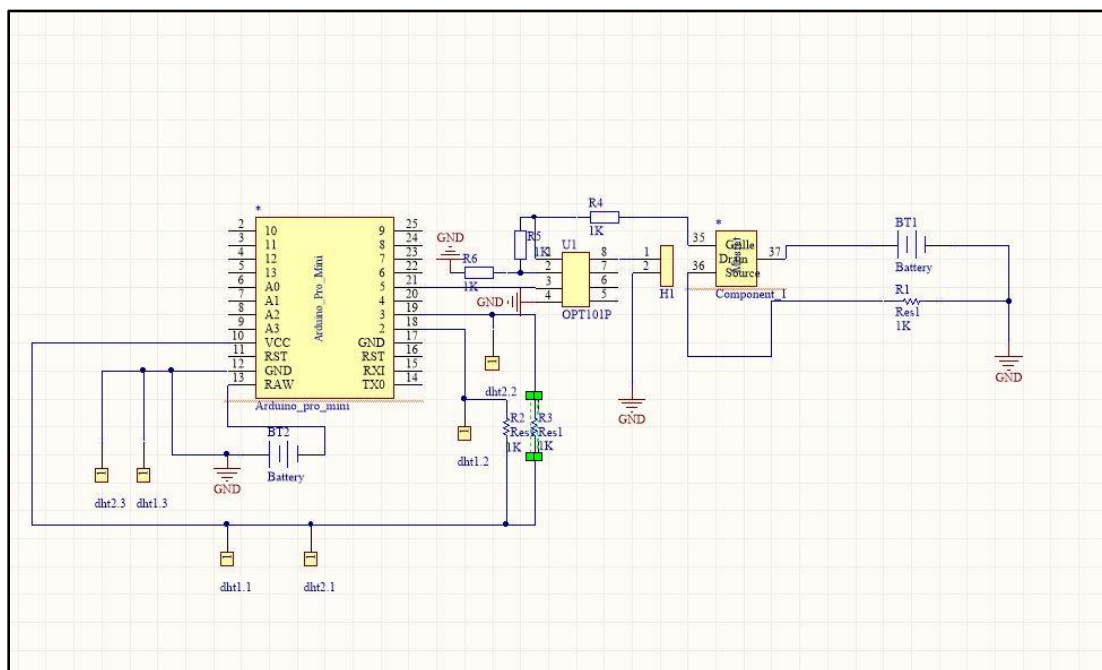
## b) PCB

Une fois le circuit électronique établi, nous avons commencé la schématisation sur Altium Designer.

Dans un premier temps, nous avons créé les composants manquant dans la bibliothèque : l'Arduino pro mini et le Mosfet choisi pour notre projet.

Tout d'abord, il a fallu faire les schématiques puis les empreintes et enfin assembler les deux afin de pouvoir les inclure dans la bibliothèque.

Une fois cette partie faite nous avons pu créer notre schématique complète :



La photo ci-dessus est la dernière version

de notre circuit. Nous expliquerons les difficultés rencontrées dans la partie suivante.

Ensuite nous avons donc pu faire le PCB de la carte et enfin imprimer la carte.

## c) Problèmes rencontrés et solutions

La création du circuit électronique nous a posé quelques problèmes :

Tout d'abord, le premier circuit électronique auquel on avait pensé ne possédait pas de circuit amplificateur non inverseur. En effet, nous avons compris après la première lecture de la datasheet que la tension de grille devait être comprise entre 3 et 5v. Or cette tension est la tension minimale pour laquelle le mosfet devient passant. Cependant dans un premier temps, les 3,3V de l'Arduino n'étaient pas suffisants et donc le transistor ne commutait pas.

Nous avons donc relu la datasheet et compris que nous allions devoir amplifier au minimum à 6V afin de laisser passer 2A dans le fil chauffant.

Il a donc fallu penser à une alimentation supérieure à celle initiale (5V pour l'arduino et la tension drain source) afin d'obtenir une tension de commande à la grille suffisamment grande. La solution la plus simple que l'on ait trouvée a été d'ajouter une pile 9V rechargeable afin d'alimenter l'AOP.

Le deuxième problème a été la dimension du fil résistif. Pour commencer le projet nous avons fait quelques tests avec un fil que ne n'avions pas choisi et par la suite nous avons continué à l'utiliser car nous pensions que celui-ci serait adapté pour notre projet. Cependant, après le dimensionnement de la batterie, nous avons vu que nous devrions avoir un fil d'une longueur de 4m(0,624Ohms/m) afin d'obtenir 2,5 Ohms. La solution trouvée a donc été d'agencer correctement le fil afin de réussir à le glisser entre les deux plaques de caoutchouc.

Une fois le montage terminé et les composants soudés nous avons pu commencer les tests. Outre les problèmes rencontrés avec le premier montage qui nous a fait modifier notre circuit (problème de tensions de commande) nous avons rencontré de nombreux problèmes sur lesquels nous avons passé beaucoup de temps afin d'y répondre et trouver une solution. Dans un premier temps le Mosfet utilisé était un composant CMS qui pouvait, d'après la datasheet, laisser passer près de 9A en continu et 38A en pulsion.

Nous avons donc une tension de 5v entre le drain et la masse et une résistance de 2,5 Ohms. Cela devait donc laisser passer 2A dans la résistance. Cependant dès les premiers tests nous nous sommes retrouvés avec une tension de 1,5v et un courant très faible. De plus le Mosfet chauffait énormément ce qui endommageait le système.

Nous avons donc décidé d'y souder un dissipateur thermique afin de résoudre le problème de l'emballement thermique.

Après cette soudure faite, les résultats obtenus ne changeaient pas. Une chute de tension très importante était toujours observée au niveau du mosfet.

Après réflexion, nous avons décidé de changer de mosfet (IRF530) afin de réaliser de nouveaux tests sur une plaque d'essai.

Ce dernier possède des caractéristiques similaires à celui choisi en début de projet. (Nous l'avons aussi utilisé lors de nos premiers tests sur plaque pour valider le schéma électronique).

Après les premiers tests nous constatons le même problème de chute de tension.

Nous avons donc décidé d'étudier plus concrètement l'utilisation du nouveau Mosfet et nous avons trouvé que ce dernier doit avoir une résistance très faible en commande contrairement au premier utilisé.

Après cette modification, une chute de tension moins importante était observée aux bornes du mosfet.

Nous décidons donc de remplacer le premier montage et d'utiliser ce nouveau composant. Après la soudure, nous avons obtenu un résultat très proche de celui attendu. En effet nous avons obtenu une tension de 5v avec 1,8A pour une tension au drain de 5,5V.

Pour ses derniers tests nous avons aussi décidé de changer la pile (utilisée pour l'AOP) et d'en mettre une neuve délivrant près de 9,5V. Cela a donc permis d'obtenir une tension de commande légèrement plus élevée et ainsi laissé passer plus de courant entre le drain et la source.

Après 20 secondes nous avons réellement senti un échauffement au niveau du fil obtenu grâce à la commande de l'arduino.

### 3) Partie Mécanique

#### a) Semelle

Concernant le support principal de notre projet, la semelle, nous avons décidé de nous munir de deux plaques de caoutchouc. Ces plaques sont principalement utilisées sous des appareils électroménagers mais ils conviennent très bien à notre utilisation également. Nous avons donc voulu découper ces plaques de caoutchouc à la découpeuse laser mais ces plaques contiennent de la colle qui ne peut pas être chauffée à la découpeuse laser. Nous avons donc découpé un patron en forme de notre semelle dans une plaque de bois. Puis nous nous sommes servis de ce patron pour découper nos semelles au cutter. En annexe 2, le dessin en format .SMG du patron et une photo du patron découpé à la découpeuse laser.

Dans l'une de ces 2 demi-semelles, nous avons percé deux trous pour pouvoir placer les deux capteurs de température.

Pour dissiper au mieux la chaleur dans notre chaussure, nous avons décidé de fixer le fil chauffant sur un film thermique qui conduit la chaleur. Pour cela, nous l'avons cousu.

Une fois les capteurs fixés dans la semelle et le fil résistif fixé sur le le film thermique, nous aurions dû refermer la semelle mais nous avons décidé de ne pas le faire pour pouvoir continuer à voir l'intérieur, pour la soutenance de projet.

Pour fixer la semelle à la chaussure, nous utilisons du scratch, le même que pour fixer le boîtier au mollet de l'utilisateur

#### b) Boîtier

Afin de fixer le circuit et la batterie, nous avons décidé de réaliser sur OnShape le boîtier qui sera imprimé en 3D par la suite.

Le dimensionnement du boîtier c'est fait à partir des dimensions de la batterie (laisser accès au boutons lorsque la batterie est dans le boîtier) et du circuit électronique (celui sans AOP). Afin de lutter contre le froid extérieur, nous avons laissé la place pour y mettre une couche isolante comme celle présente dans les glacières afin de garder la chaleur de la batterie et ainsi protéger les composants du froid.

En annexe 3, un aperçu du boîtier réalisé sous Onshape



c) Problèmes rencontrés et solutions apportées

Le principal problème de la conception mécanique du système est la réalisation du boîtier qui n'a pu être fait. En effet, avec les problèmes liés à la carte et au circuit, nous ne pouvions imprimer le boîtier sans connaître la dimension de la carte et les emplacements de sortie des fils et donc la place totale prise par l'ensemble.

Afin de pallier au manque du boîtier nous avons tout simplement pensé à rallonger les fils afin de mettre le bloc batterie-circuit dans une poche plus haute.

Ensuite nous pensions pouvoir découper à la découpeuse laser la semelle mais son épaisseur trop importante nous l'a empêché. Nous avons donc dû nous débrouiller avec un cutter. L'assemblage de caoutchouc n'étant pas conçu pour la découpe, de nombreux morceaux se sont détachés mais nous avons réussi à donner la forme voulue à la semelle. Les mêmes problèmes de découpe est survenu lors du perçage afin d'y mettre les capteurs de température.

## IV Utilisation et améliorations possibles

Cette sous-chaussure chauffante possède de nombreuses qualités. En effet, malgré les problèmes rencontrés nous avons réussi à obtenir un système autonome qui permet de garder à une température constante la semelle.

Les tests, en réalité, ont été fait dans un congélateur. Effet nous avons laissé la semelle pendant une dizaine de minute à une température de -10 degrés et observé la température de la semelle. Cette dernière était restée à la température souhaité (environ 10°C) et nous sentions une echauffement de la part du fil résistif. Cela nous montre donc que le système est fonctionnel.

Cependant, des améliorations sont possibles :

Tout d'abord, le principal inconvénient est que dès que la tension délivrée par la pile sera plus faible, la tension de commande sera moindre ce qui engendrera une baisse de courant passant dans le drain et la source. La solution possible est de mettre un accumulateur de 12V rechargeable de dimension suffisamment petite pour rentrer dans le boîtier. Cela permettrait de pouvoir amplifier plus la tension en sortie de l'Arduino (en changeant le gain du circuit non amplificateur) et ainsi laisser passer plus de courant.

Ensuite, il existe des capteurs de température beaucoup plus petit. Cela permettrait d'avoir une semelle plus fine et ainsi avoir un poids moindre au niveau du pied.

Par ailleurs, afin d'augmenter le confort de l'utilisateur, nous pourrions dans un premier temps, faire des fils suffisamment longs afin de faire passer les fils à l'intérieur du pantalon afin d'attacher le boîtier au niveau de la ceinture et dans un second temps chauffer un peu plus fort afin de garder au chaud le pied.

Enfin le système d'attache pourrait lui aussi être améliorée voir même supprimé si l'on intègre le système dans la semelle de la chaussure de sécurité.

Concernant la recherche, dans notre cas l'utilisateur doit obligatoirement recharger la batterie et la pile. On pourrait penser à un système de recharge qui fonctionnerait grâce à l'énergie piézoélectrique ou encore l'énergie solaire.

## Conclusion

### 1) Adhésion résolue

Maintenant, Jean-Yves enfle ses sous-chaussures antidérapantes tous les matins. Il lui suffit de récupérer les deux batteries qui ont chargé la nuit, de les accrocher à ses mollets, de les brancher, et c'est parti pour la journée. Ses chaussures accrochent beaucoup mieux à tout type de surface et en plus, les résidus thermiques chauffent ses pieds. Il s'agit donc également d'un produit de confort. Le port de ces sous-chaussure est maintenant obligatoire lorsque la température est inférieure à 5°C.

Chaque soir, en les enlevant, il lui suffit de retirer la batterie de sa pochette en bas du mollet, de la brancher à son chargeur afin qu'elle charge toute la nuit.

### 2) Apports du projet

Pour conclure, ce projet nous a permis de stimuler nos idées et de mettre en pratique la théorie acquise au cours de ces dernières années. En effet, lorsqu'on étudie un système dans la théorie, nous ne nous rendons pas toujours compte des problèmes qui peuvent être rencontrés lors de la réalisation de ce système. Aussi, nous avons été habitués à manipuler lors de séances de TP. Ces TP ont été testés avant pour assurer leur fonctionnement. Ce n'est pas le cas des différents montages et tests réalisés.

Ce projet nous a également aidé à chercher les solutions à nos problèmes de manière plus efficace. Nous avons pu faire appel à des membres extérieurs à notre projet ou encore à des camarades. Ces problèmes rencontrés amenaient souvent à des débats très intéressants entre élèves.

Nous avons aussi appris à nous organiser, diviser les tâches et faire confiance à son binôme.

### 3) Rendu final

Nous sommes heureux d'avoir pu finaliser ce projet, qui fonctionne comme nous l'avions espéré au début du projet. Comme décrit précédemment, de nombreuses améliorations sont possibles. Voici donc, en annexe 4, une photo de notre projet final :

## ANNEXE 1 : PROGRAMME ARDUINO

```
#include "DHT.h" // Librairie des capteurs DHT
#include "DHT_U.h"
#define DHTPIN1 3 // Pin sur lequel est branché le DHT1
#define DHTPIN2 2 // Pin sur lequel est branché le DHT2
#define PIN_SORTIE 5 // Pin de sortie
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
#define SEUIL1 -5
#define SEUIL2 5

DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE);
DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE);
void setup()
{
  pinMode(PIN_SORTIE, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  dht1.begin();
  dht2.begin();
}

void loop()
{
  // Délai de 2 secondes entre chaque mesure. La lecture prend 250 millisecondes
  delay(2000);

  // Lecture de la température du premier capteur en Celcius
  float t1 = dht1.readTemperature();

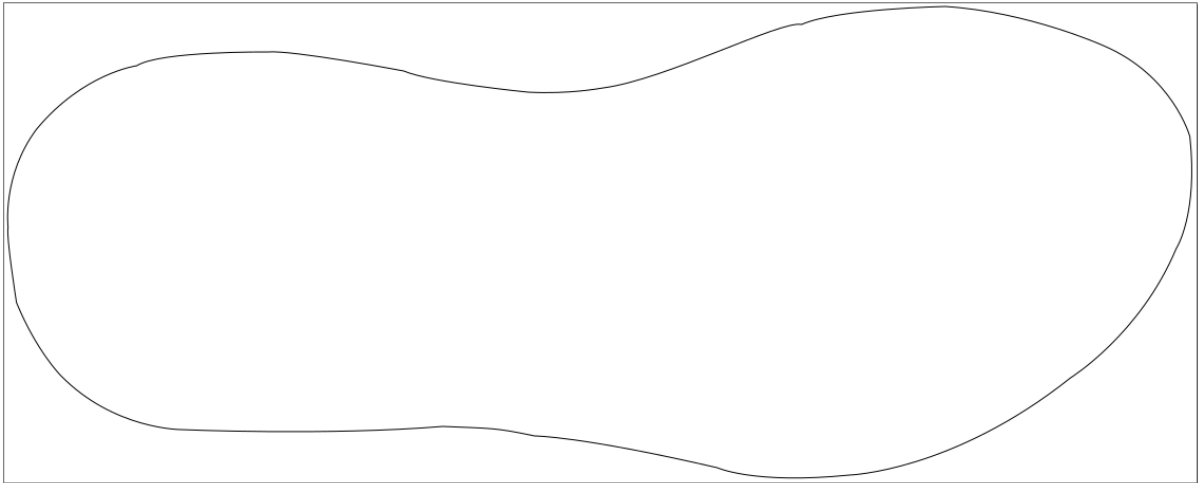
  // Lecture de la température du deuxième capteur en Celcius
  float t2 = dht2.readTemperature();

  // Stop le programme et renvoie un message d'erreur si le capteur 1 ne renvoie aucune
  mesure
  if (isnan(t1))
  {
    Serial.println("\nEchec de lecture capteur 1 !");
    return;
  }
}
```

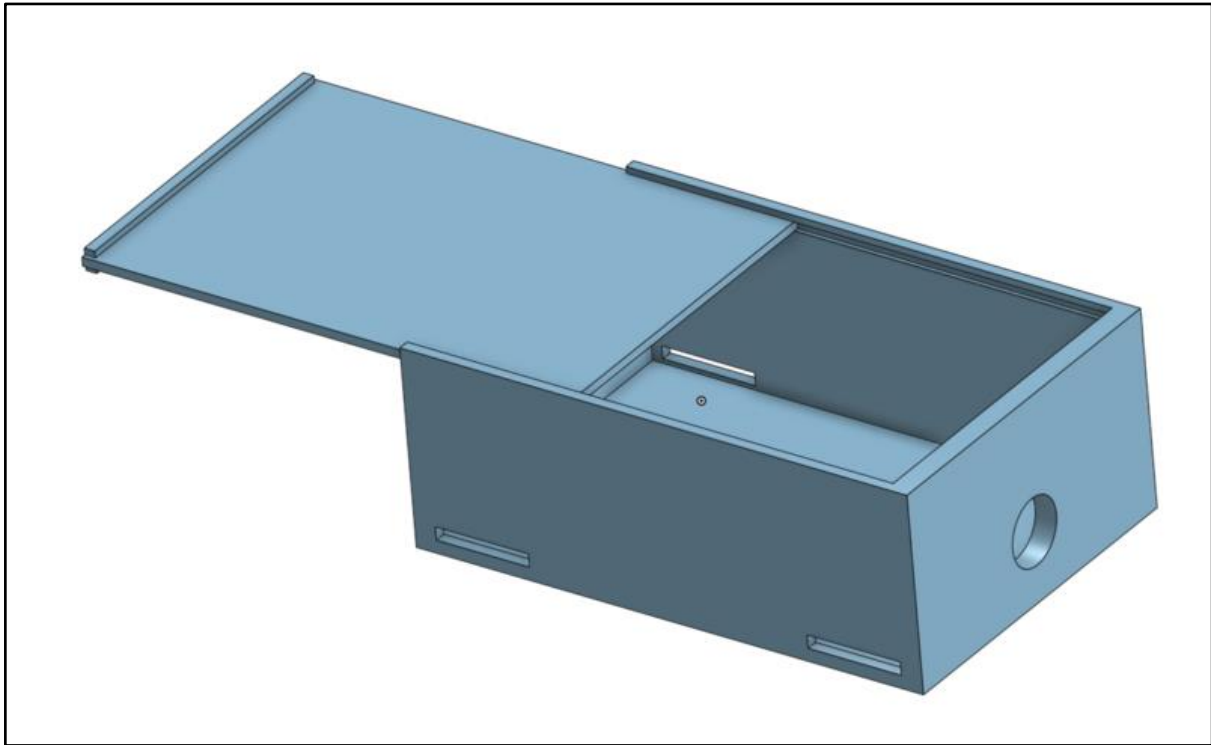
```
// Stop le programme et renvoie un message d'erreur si le capteur 2 ne renvoie aucune
mesure
if (isnan(t2))
{
  Serial.println("\nEchec de lecture capteur 2 !");
  return;
}

float t=(t1+t2)/2;
if(t < SEUIL1)
{
  Serial.print("\nTempérature Basse : on chauffe !\tTmoy = ");
  Serial.print(t);
  Serial.print("\nC\tT1 = ");
  Serial.print(t1);
  Serial.print("\nC\tT2 = ");
  Serial.print(t2);
  analogWrite(PIN_SORTIE, 230);
}
else if(t>SEUIL1 && t<SEUIL2)
{
  Serial.print("\nTempérature moyenne : on chauffe un peu!\t");
  Serial.print(t);
  analogWrite(PIN_SORTIE,153);
}
else
{
  Serial.print("\nTempérature haute : on chauffe très peu!\t");
  Serial.print(t);
  analogWrite(PIN_SORTIE, 102);
}
}
```

ANNEXE 2 : PATRON DE LA SEMELLE



### ANNEXE 3 : BOÎTIER DE RANGEMENT



### ANNEXE 4 : RENDU FINAL DU PROJET

