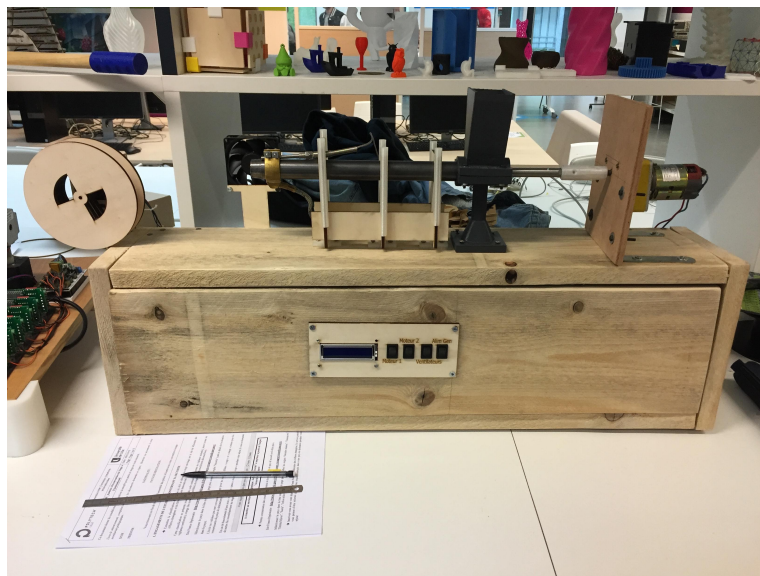


Rapport de projet

Recyclage plastique imprimante 3D



*Projet encadré par Alexandre Boé, Xavier Redon et
Thomas Vantroys*

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier l'ensemble des personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet sans qui ce projet n'aurait certainement pas pu aller au bout.

Nous tenons bien entendu à remercier particulièrement les professeurs tuteurs de ce projet Alexandre Boé, Xavier Redon et Thomas Vantroys qui ont su être à l'écoute et nous donner des conseils grâce à leur expérience.

Nous remercions ensuite Thierry Flamen qui nous a été d'une grande aide lors de la réalisation de la partie électronique de ce projet.

Puis nous voulons remercier Gauthier Traisnel pour son soutien dans la réalisation de ce projet, son expertise dans le domaine des extrudeurs nous a également été bénéfique.

Nous remercions également Florian Chevalier et Abdelkader Benabou de nous avoir consacré du temps pour nous accompagner dans les tests de la carte électronique en E001.

Enfin nous remercions Rodolphe Astori, Thomas Dienne, Fabien ainsi que tous les Fab'Managers d'avoir contribué à la réalisation de ce projet

Sommaire

Remerciements.....	2
Sommaire.....	3
Introduction.....	4
1. Présentation du projet.....	5
1.1. Objectifs.....	5
1.2. État de l'art.....	5
1.3. Cahier des charges.....	6
1.4. Choix techniques et positionnement par rapport à l'existant.....	6
2. Réalisation du projet.....	7
2.1. Conception mécanique.....	7
2.1.1. Structure de la machine.....	7
2.1.2. Modélisation du système d'extrusion.....	9
2.1.3. Modélisation du système d'enroulement du filament.....	9
2.2. Conception électronique.....	10
2.2.1. Choix des moteurs.....	10
2.2.1.1. Moteur contrôlant l'enrouleur.....	10
2.2.1.2. Moteur contrôlant la vis sans fin.....	11
2.2.2. Alimentation de la machine.....	14
2.2.3. Régulation de la température de chauffe.....	14
2.2.3.1. Comment la température de chauffe est-elle mesurée ?.....	14
2.2.3.2. Commande de la résistance chauffante.....	15
2.2.4. Réalisation de la carte électronique.....	16
3. Pour aller plus loin.....	17
3.1. Les difficultés rencontrées.....	17
3.1.1. Des composants défectueux.....	17
3.1.2. Problèmes liés à l'utilisation des machines.....	18
3.1.3. Une mauvaise expertise.....	19
3.2. Perspectives d'évolution.....	19
3.3. Bilan sur les coûts de réalisation.....	20
Conclusion.....	21
Annexes.....	22
Annexe 1 — Schématique de la carte électronique.....	22
Annexe 2 — PCB routé de la carte électronique.....	23

Introduction

Dans le cadre de notre seconde année d'étude dans le domaine Informatique, Microélectronique et Automatique (IMA) à Polytech Lille, nous avons eu la chance de pouvoir réaliser un projet dont l'intitulé du sujet est le suivant : « Recyclage plastique pour imprimante 3D » dont le but était de réaliser une machine capable de recycler à minima le PLA (voir l'ABS) et d'en faire du filament réutilisable pour les imprimantes 3D.

Ce projet a pour but premier de nous sensibiliser sur la réalisation d'un projet de A à Z tout en réutilisant l'ensemble des connaissances que nous avons acquises lors de nos différentes années d'études à Polytech Lille.

Le choix de ce sujet a été assez simple et évident pour nous car il allie parfaitement les différentes composantes d'un ingénieur en ayant un aspect développement durable. Après avoir fait une étude assez approfondie du marché et de l'existant, nous avons procédé à la réalisation du cahier des charges. Ce dernier nous servira de fil conducteur tout au long du projet afin de cibler les différentes tâches à réaliser.

Nous présenterons donc dans un premier temps le fruit de notre analyse et les choix techniques que nous avons retenu. Ensuite nous parlerons de la réalisation de ce projet au niveau de la conception mécanique et électronique. Enfin nous aborderons les difficultés que nous avons rencontré lors de ce projet ainsi que les solutions que nous pourrions apporter afin d'améliorer le rendu final.

1. Présentation du projet

1.1. Objectifs

Dans un contexte actuel où le développement durable prend une place de plus en plus importante dans la société mais également dans le travail des ingénieurs, l'objectif principal de notre projet était de concevoir une machine capable de recycler des déchets plastiques afin d'en faire du filament réutilisable pour les imprimantes 3D.

Avant toutes choses, il faut d'abord concasser les morceaux de plastiques plus volumineux afin d'obtenir des sortes de copeaux qui seront plus facilement transformables en filament. Il aurait donc fallu réaliser une broyeuse plastique. Cependant par manque de temps, de budget et de connaissances en mécanique, nous n'avons pas participé à la réalisation de cette broyeuse et nous avons considéré que les plastiques à recycler étaient déjà broyés en petits morceaux.

Il était également indiqué la possibilité de recycler du PLA ou de l'ABS. Cependant après quelques recherches, nous avons vu que l'ABS émanait des vapeurs toxiques une fois chauffé. Nous avons donc décidé de travailler exclusivement avec des chutes de PLA.

Nous devons donc réaliser une machine capable de chauffer le PLA afin de le faire fondre et le rendre liquide. Une fois cette étape réalisée, nous devons le filer afin d'obtenir un filament de diamètre adéquats (environ 1,75mm en général).

1.2. État de l'art

Nous ne pouvons pas parler de notre projet sans parler de ce qui se fait à l'heure actuelle dans ce domaine. En effet, l'impression 3D se développe de plus en plus et aujourd'hui plusieurs fabricants se sont lancés dans la conception d'extrudeur de filament. Cependant les produits restent encore assez chers. Prenons l'exemple de la firme Filabot, experte en extrusion de filament, dont les produits peuvent aller de 850 \$ pour le modèle de base jusqu'à 1900 \$ pour les modèles les plus performants. Il faut donc avoir une utilisation intensive pour rentabiliser de tels produits.

En revanche il existe aussi des projets collaboratifs open source et gratuits tels que Precious plastic permettant aux plus aguerries de fabriquer eux même leur propre extrudeur de filament. C'est dans cette même optique que nous allons réaliser notre projet en concevant une machine relativement simple, peu coûteuse et dont il sera facile d'intervenir en cas de problème.

1.3. Cahier des charges

Dans une démarche de développement durable, nous avons la ferme intention de rendre notre machine utile et comme finalité d'être installée au fabricarium de Polytech Lille afin de recycler les chutes d'impressions et de réduire l'achat ainsi que la consommation de PLA.

Nous avons donc réalisé un cahier des charges avec une liste des tâches que notre machine doit être capable de réaliser afin de nous donner une ligne de conduite tout au long de ce projet.

Notre machine doit être capable d'acheminer les granulés à travers la chambre de combustion. Pour cela il faut mettre en place un système capable de faire transiter les granulés de la zone d'insertion jusqu'à la zone d'extrusion en passant par la chambre de combustion. Il faut donc utiliser un moteur qui permettra de contrôler la rotation d'une vis sans fin qui permettra le parcours des granulés le long de l'axe principal.

De plus notre machine doit être capable de faire fondre des granulés et d'obtenir une matière visqueuse. Cette même matière sera ensuite acheminée jusqu'à la zone d'extrusion, puis à son passage à l'air libre, elle se solidifiera pour former le filament de diamètre souhaité.

Il est également important de limiter la consommation en énergie de notre machine si nous voulons renforcer la démarche de développement durable entreprise par ce projet.

Pour ce qui est du budget pour réaliser ce projet, il n'a pas été fixé mais pour nous il paraît intéressant de faire un bilan en fin de projet afin de voir si nous avons réussi à limiter les coûts et d'avoir une machine s'inscrivant dans la catégorie des projets collaboratifs open source pouvant être fabriqués par Monsieur tout le monde (moyennant du matériel).

1.4. Choix techniques et positionnement par rapport à l'existant

Notre projet se veut comme étant un projet à coûts réduits et un projet étudiant, nos choix techniques vont donc découler de ces contraintes. Pour la partie réalisation mécanique de notre machine nous avons choisi de privilégier des matériaux peu onéreux ainsi que d'une grande facilité d'acquisition. C'est pour cela que la majeure partie de notre machine se trouve être en bois, nous avons ainsi pu créer l'ensemble de ses parties directement au fabricarium de l'école.

Pour obtenir un projet peu coûteux nous avons aussi essayé au maximum de prendre des matériaux ou des composants de récupération, que ce soit des composants venant d'anciens projets ou tout simplement des moteurs ou des alimentations non utilisées.

Cet aspect rentre également dans l'axe écologique de notre projet, en effet créer une machine permettant de recycler du plastique à partir de composants et de matériaux de secondes mains accentue la dimension de recyclage.

Nous avons également effectué certains choix en fonction de la contrainte de temps mis à notre disposition, nous avons par exemple programmé notre carte Arduino à l'aide du logiciel IDE pour plus de rapidité lors de l'écriture du code.

Avec des choix techniques tels que ceux que nous avons pris, notre placement par rapport aux extrudeurs existants est plus qu'assez évident. Notre projet se veut certes moins performant que les extrudeurs de filament de grandes compagnies mais l'aspect le plus important est le fait que nous sommes plus proches de projets collaboratifs permettant à de petites institutions de développer leur propre machine pour un coût moindre, ce qui engendre également une rentabilisation plus rapide.

2. Réalisation du projet

2.1. Conception mécanique

La conception mécanique de notre projet constitue une partie importante car c'est le support physique qui nous a servi à réaliser l'extrusion de PLA. Cette dernière n'a pas été une mince à faire car nous n'avons pas une grande sensibilisation dans ce domaine. Pourtant malgré divers tests et changements nous sommes quand même parvenu à un résultat assez convaincant.

2.1.1. Structure de la machine

La structure de la machine est un élément essentiel car c'est ce qui sert de support au système d'extrusion mais également de contenant à toute notre partie électronique. Le support devait être assez résistant solide et assez long. Nous nous sommes directement dirigé dans la conception d'une boîte en bois. Nous avons donc acheté une planche de 4 mètres de longueur et 20 centimètres de largeur à Leroy Merlin et nous l'avons découpé afin de pouvoir former une boîte.

La photo ci-dessous donne un aperçu du rendu final de la boîte qui est quand même assez volumineuse.



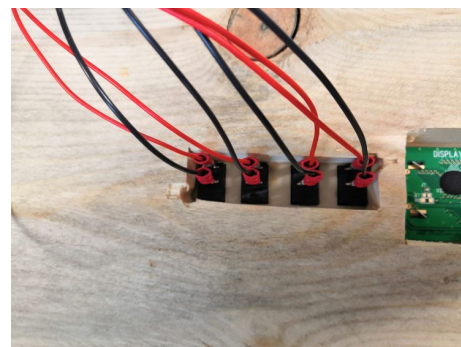
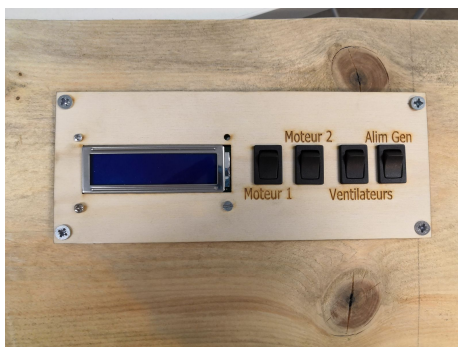
Figure 1 - Photo du rendu final de la boîte

À ce stade d'évolution, la face avant n'a pas été fixée pour pouvoir garder un accès à l'intérieur de la boîte afin d'y introduire l'électronique.

De plus nous avons eu l'idée d'ajouter sur la face avant un cadran de contrôle avec un afficheur LCD qui permet de visualiser des informations ainsi que des boutons qui permettent le contrôle des différentes parties de la machine.

Les boutons sont au nombre de 4 :

- Bouton de contrôle du moteur entraînant le système d'extrusion (Moteur 1);
- Bouton de contrôle du moteur entraînant l'enroulement du filament (Moteur 2);
- Bouton d'activation du ventilateur (Ventilateurs);
- Bouton d'alimentation de la machine (Alim Gen).



*Figure 2 - Cadrant de contrôle de la machine et
branchement des interrupteurs*

2.1.2. Modélisation du système d'extrusion

Le but de notre système d'extrusion est d'amener les granulés de la zone d'insertion jusqu'à la chambre de combustion afin qu'ils entrent en fusion et qu'ils puissent être extrudés. Pour cela nous avons besoin d'un conduit et d'une vis sans fin qui permet d'acheminer les granulés. Nous avons décidé d'utiliser un tube métallique de 20x27mm de diamètre et d'un foret de 20mm de diamètre en guise de vis sans fin. Ces derniers, s'emboîtant parfaitement, constituent alors la base de notre système d'extrusion.

La zone d'approvisionnement des granulés est elle modélisée à l'aide d'un support imprimé en 3D. Ce dernier possède une partie supérieure en forme d'entonnoir qui nous sert donc de réservoir à granulés. Il a fallut cependant réaliser une ouverture dans notre tube métallique au second lieu de Polytech afin de laisser les granulés pénétrer et être emmenés par la vis sans fin.

Pour fixer le tube nous réalisons des supports en bois à l'aide de la découpe laser que nous fixons sur le dessus de la boîte.



Figure 3 - Supports du tube métallique

Enfin en sortie du tube nous utilisons un bouchon en laiton de plomberie percé à 1,75mm de diamètre ce qui représente la taille du filament utilisé par les imprimantes 3D.

2.1.3. Modélisation du système d'enroulement du filament

Notre machine doit être capable de créer du fil prêt à l'usage, il nous faut donc un système permettant de conserver ce fil. Nous avons donc pensé à réaliser un système d'enrouleur de fil en bout de notre machine. Pour la réalisation de ce système nous avons donc modélisé une bobine permettant d'enrouler le fil autour, cette bobine étant attachée à un moteur qui, à vitesse constante, permettra de tirer le fil fraîchement extrudé et de l'enrouler autour.

Pour faciliter l'enroulement du fil autour de la bobine, nous devons attendre qu'une longueur de fil d'une dizaine de centimètres soit déjà sortie avant d'éteindre le moteur de la vis pour pouvoir accrocher le fil créé dans le trou prévu à cet effet dans la bobine d'enroulement.

Nous avons modélisé la bobine en 2D à l'aide du logiciel Inkscape.

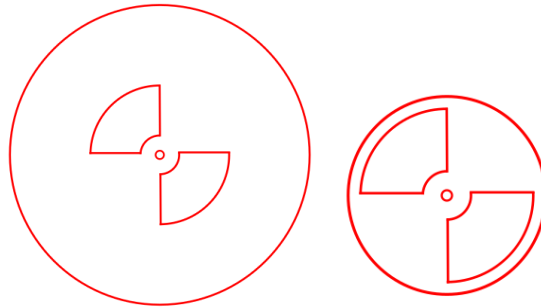


Figure 4 - Design sous Inkscape de l'enrouleur

Une fois la bobine modélisée nous avons utilisé la découpeuse laser afin de découper les plans sur des planches de bois. Pour la partie la plus grande nous avons réalisé 2 découpes qui serviront d'extrémités. Nous avons ensuite découpé la petite partie en 5 fois afin de réaliser l'intérieur de l'enrouleur en superposant les différentes couches. Avec de la colle à bois nous venons donc assembler les différentes découpes pour former l'enrouleur ci-dessous. Nous n'oublions pas de laisser une petite ouverture à l'intérieur pour pouvoir venir attacher le filament.



Figure 5 - Enrouleur découpé et collé

Il ne reste plus qu'à attacher un moteur à notre enrouleur pour former le système d'enroulement complet du filament.

2.2. Conception électronique

2.2.1. Choix et contrôle des moteurs des moteurs

Pour la réalisation de notre projet, nous avons besoins de deux moteurs fonctionnels. Le premier moteur est le moteur permettant la rotation de la vis sans fin à l'intérieur même du tube. Le deuxième moteur quant à lui va entraîner l'enrouleur autour duquel le fil viendra se loger après extrusion.

2.2.1.1. Moteur contrôlant l'enrouleur

Ce moteur a besoin d'une vitesse de rotation constante car même si en premier lieu on pourrait penser que sa fonction est juste de faire tourner l'enrouleur, c'est en réalité plus complexe. Une fois que le fil commencera à sortir du tube il faudra attendre une longueur spécifique pour pouvoir ensuite venir l'accrocher à l'enrouleur. Une fois la première longueur de fil sortie la charge pesant sur le moteur de la vis va se réduire. En effet suite à l'attache du fil sur l'enrouleur, avec un contrôle de la vitesse de rotation très précis nous pouvons donc tirer le fil hors du tube à la place de juste le pousser hors de ce même tube.

Ayant l'explication de la raison de la vitesse de rotation précise de ce moteur nous pouvons donc déterminer quel type de moteur sera le plus adapté. Les moteurs disposant d'un contrôle de vitesse le plus précis sont les moteurs pas à pas, nous nous sommes donc logiquement tourné vers ce type de moteur pour l'enrouleur. Par chance, un moteur pas à pas de type NEMA 17 était disponible à Polytech, nous n'avons donc pas eu à en commander un.

Une fois le moteur pas à pas en main nous avons pu commencer à le contrôler à l'aide d'un contrôleur moteur TB6560 que nous avons pu récupérer au fabricarium de Polytech et d'un arduino. Le code étant relativement simple nous ne nous attardons pas sur cette partie. Cependant il est intéressant de voir comment connecter le contrôleur moteur. Le schéma ci-dessous décrit parfaitement comment alimenter et connecter ce dernier.

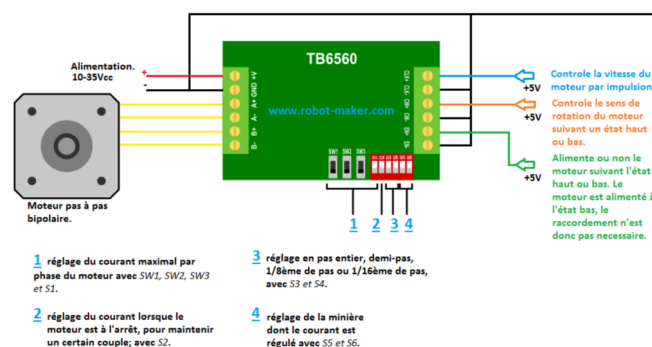


Figure 6 - Schéma de câblage du contrôleur TB6560

Une fois le contrôle réalisé, nous avons pu coupler le moteur à l'enrouleur et former le système complet de l'enroulement de filament. Nous modélisons enfin un support qui nous servira à attacher le moteur NEMA 17 à la boîte. Nous avons conçu une nouvelle fois le support à l'aide du logiciel Inkscape et nous avons dû découper beaucoup de pièces mais nous sommes assez satisfait du rendu final !

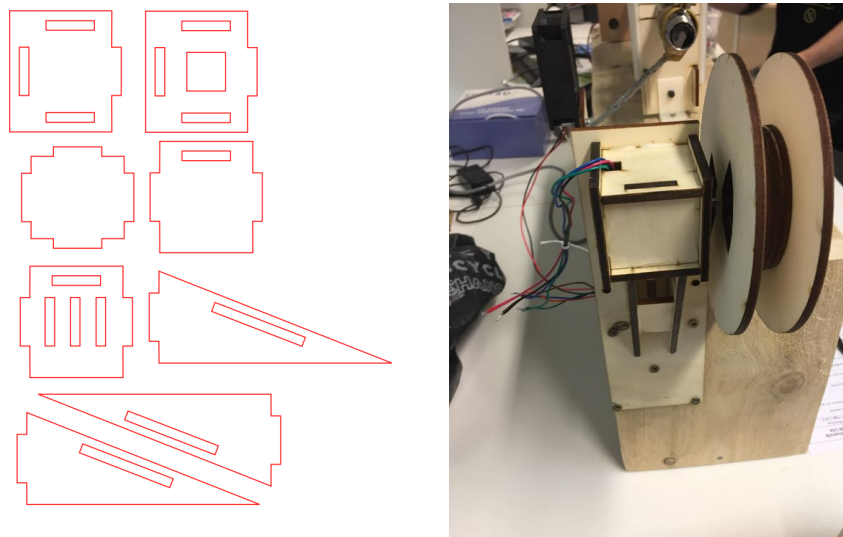


Figure 7 - Assemblage et montage sur la boîte du système d'enroulement

2.2.1.2. Moteur contrôlant la vis sans fin

Pour le moteur de la vis sans fin la problématique n'est pas la même. Certes nous devons avoir une vitesse de rotation de la vis constante mais la caractéristique la plus importante est que le moteur doit avoir assez de couple pour supporter la charge de la matière à l'intérieur du tube et pouvoir ainsi faire sortir cette matière en tant que fil de diamètre constant.

Il nous faut donc un moteur capable de garder une vitesse relativement constante tout en développant un couple suffisant. Nous avons donc opté pour un moteur à courant continu qui allie ainsi ces deux aspects importants.

Le moteur à courant continu que nous utilisons nous a été donné par Gauthier Traisnel qui, dans le cadre de son cursus universitaire, se lance dans la création de sa propre entreprise d'extrusion de plastique mais à grande échelle. Ce moteur étant alimenté en 12V-4A, nous avons donc dû réguler l'alimentation de ce dernier. Nous avons utilisé un potentiomètre pour le contrôler et ainsi pouvoir ajuster la vitesse de rotation de la vis sans fin. En effet il faut que cette dernière ne soit pas trop importante pour pouvoir laisser le temps à la résistance chauffante de faire fondre les granulés de PLA.

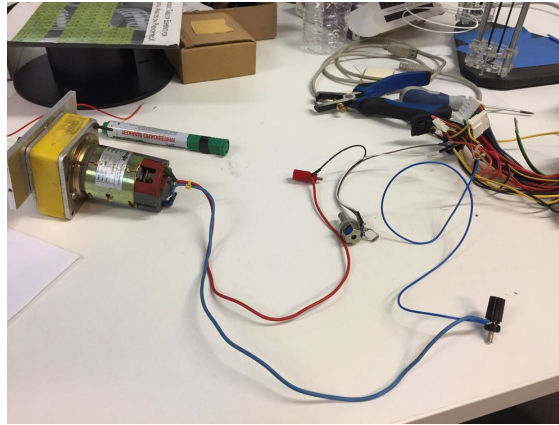


Figure 8 - Photo du contrôle du moteur à courant continu

Une fois sûr du contrôle de ce moteur, nous l'avons donc fixé à la boîte à l'aide d'une simple planche de bois sur laquelle nous avons vissé le moteur.

Une fois le moteur en place, la dernière étape pour le lier au système d'extrusion était de réaliser une pièce que nous attachons d'une part au moteur et d'autre part à l'extrémité du foret. Nous avons réalisé cette pièce à l'aide de l'imprimante 3D au fabricarium.



Figure 9 - Photo de l'attache du foret au moteur

Finalement, le moteur fixé et attaché au foret constitue le système d'extrusion de notre machine.



Figure 10 - Photo du moteur fixé sur la boîte

2.2.2. Alimentation de la machine

L'alimentation de la machine faisait partie d'un des plus gros problèmes que nous avons. En effet les différents éléments constituant cette dernière ne sont pas alimentés de la même manière. Nos moteurs, ainsi que le ventilateurs sont eux alimentés en 12V. L'Arduino Mega et le régulateur de température sont alimentés en 5V. Enfin la résistance chauffante est elle alimentée en 220V.

Nous avons donc dû adapter la disposition des composants ainsi que nous munir d'alimentation de différents types afin de nous affranchir de ces différences.

2.2.3. Régulation de la température de chauffe

Afin de pouvoir extruder le PLA, nous avons dû le faire passer d'un état solide à un état liquide. Pour cela nous avons décidé d'utiliser une résistance chauffante, en forme d'anneau, qui est placée autour du tube permettant de conduire les granulés.



Figure 11 - Photo de la résistance chauffante

La résistance chauffante étant assez puissante, il est nécessaire qu'elle soit alimentée en 220V et elle peut atteindre des températures de 600°C. Il faut donc que la température de chauffe soit régulée afin de ne faire fondre que le PLA. La température de fusion du PLA est d'environ 180°C plus ou moins 10°C.

2.2.3.1. Comment la température de chauffe est-elle mesurée ?

Pour mesurer et réguler cette température au mieux, nous utilisons donc une sonde de température thermocouple de type K et pour analyser la température lue nous la couplons à un MAX6675 qui fera donc la jonction entre l'arduino et la sonde.

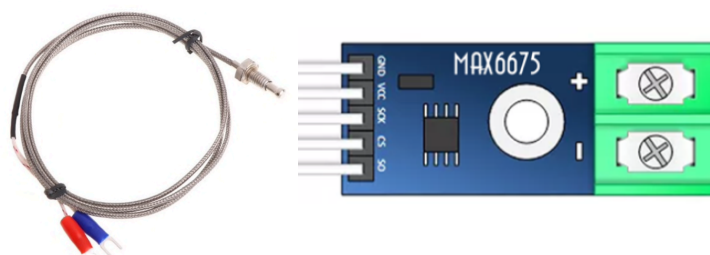


Figure 12 - Sonde de température et MAX6675

Le principe de fonctionnement est relativement simple, le thermocouple est formé de 2 fils métalliques différents soudés ensemble. Le type K comporte une jonction entre chromel et alumel. Une faible différence de potentiel électrique apparaît à la jonction sous l'effet de la température. Le signal est faible, typiquement 50 μ V par degré, la réponse est non linéaire et il faut une compensation de soudure froide (on mesure un écart de température entre deux jonctions, pas une température absolue).

Malgré ces inconvénients, le thermocouple est très intéressant car il est simple d'emploi, robuste à la chaleur et il couvre une très grande plage de mesure de température avec une forte précision.

On amplifie puis on convertit la mesure analogique en signal numérique, une liaison SPI permet de transmettre facilement à l'Arduino le résultat. Le module d'interface de conversion utilisé ici est un MAX6675, il assure l'amplification et la conversion sur 12 bits. L'arduino reçoit donc les données de la température, les analyse et à l'aide d'un correcteur PID calcule l'erreur de température par rapport à la consigne préalablement fixée.

Une information sur la température mesurée est ensuite envoyée vers notre écran LCD qui va alors afficher cette dernière afin d'avertir l'utilisateur de la température dans la chambre de combustion et de savoir si il peut mettre en route la vis sans fin et ainsi lancer l'extrusion.



Figure 13 - Photo de l'écran LCD

2.2.3.2. Commande de la résistance chauffante

Afin de faire la jonction entre la partie 5V de commande et la partie 220V d'alimentation de la résistance chauffante, nous avons dû chercher un composant capable de lier les informations de commande 5V en amont et supporter en aval une tension de 220V.

Nous avons alors utilisé un relais statique IZC-11F qui nous servira d'interrupteur via une bobine interne au composant.

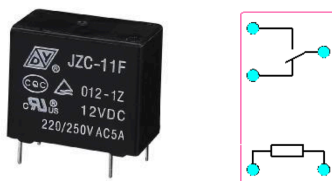


Figure 14 - Relais statique

En parallèle des informations envoyées à l'écran LCD, on envoie également un signal via une sortie digitale de notre Arduino Mega au relais statique qui permet de faire commuter l'interrupteur et de mettre en marche ou éteindre la résistance chauffante.

Pour résumer, si la température lue par la sonde est inférieure à la température de consigne fixée, l'Arduino envoie un signal (état HAUT) sur la sortie digitale reliée au relais statique qui va faire commuter l'interrupteur et faire la liaison du côté 220V et donc alimenter la résistance chauffante. Dans le cas contraire, l'Arduino va cesser d'envoyer le signal (état BAS) et l'interrupteur va donc commuter et ne plus assurer la liaison du côté 220V.

2.2.3. Réalisation de la carte électronique

Un gros morceau de ce projet, qui nous a d'ailleurs pris pas mal de temps et qui était assez important, était la réalisation d'un PCB dans lequel nous pouvons retrouver les différents composants que nous utilisons. Pour concevoir cette carte électronique nous avons utilisé le logiciel Altium Designer qui permet la conception de PCB.

Tout d'abord nous avons dû nous familiariser avec le logiciel ce qui a pris un peu de temps mais par chance des tutoriels étaient présents sur le portail Polytech dans la rubrique Wiki, ce qui nous a fortement aidé !

Finalement après plusieurs semaines de modélisation (voir annexes), nous avons enfin pu imprimer notre carte électronique et souder les composants sur cette dernière.

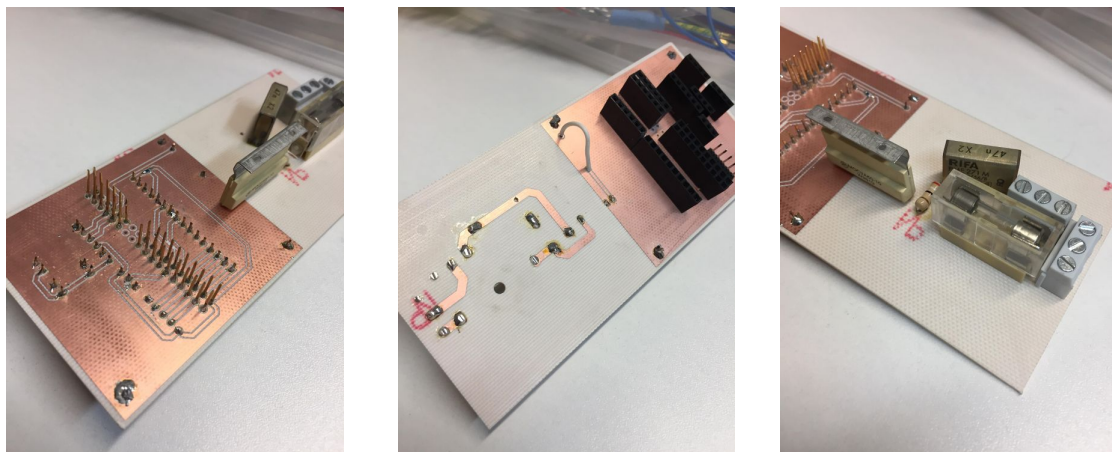


Figure 15 - Carte électronique imprimée et soudée

La carte électronique comporte deux parties. Une partie basse tension où on peut retrouver les headers qui serviront à lier les différents composants aux sorties digitales de notre Arduino Mega et une partie haute tension où on peut retrouver une capacité, une résistance, un fusible de protection et deux headers dont un pour l'alimentation et l'autre pour brancher la résistance chauffante.

3. Pour aller plus loin

3.1. Les difficultés rencontrées

Comme dans la plupart des cas, la réalisation d'un projet ne se déroule jamais sans accro et nous avons donc forcément dû faire face à de nombreux problèmes. Parfois ces derniers étaient dû à une mauvaise analyse et expertise de notre part mais parfois cela était plutôt dû à des composants défectueux ou des problèmes liés aux machines utilisées.

3.1.1. Des composants défectueux

Pour la partie régulation de la température, nous n'avions pas prévu d'utiliser le relais statique IZC-11F. Thierry Flamen nous avait déconseillé ce composant car il ne jugeait pas son utilisation adéquat pour ce que nous voulions faire. Nous avons donc utilisé un autre composant, obsolète à l'heure actuelle mais présent dans son magasin, un MOC2A60.

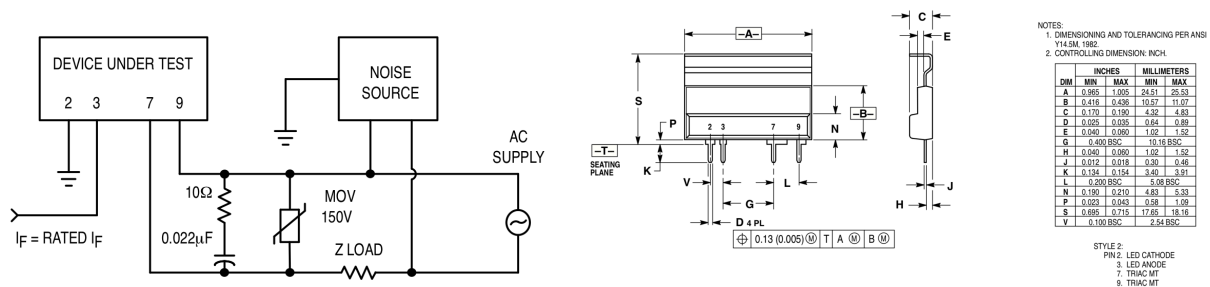


Figure 16 - MOC2A60

Ce composant a la même utilité qu'un relais statique mais la mise en place est différente. En effet, ce n'est pas une bobine qui permet de faire commuter l'interrupteur mais un signal optique qui réagit à une tension reçue. Lors de la conception de la carte électronique nous avons donc réalisé une empreinte pour ce composant sous Altium, et nous avons construit notre PCB autour de ce dernier.

Une fois le PCB imprimé, les composants soudés, nous sommes passés à la phase de tests et c'est là que nous nous sommes rendus compte d'un gros problème...

Le test était pourtant simple, nous avons placé un ampèremètre du côté 220V qui devait mesurer le courant lorsque l'on faisait commuter le MOC en injectant une tension dans la partie basse tension. Cependant rien ne se passe. Nous essayons donc de chercher si le problème ne venait pas d'un composant défectueux tel que la capa, le fusible de protection ou encore de l'alimentation basse tension mais le problème venait en réalité du MOC qui semblait défectueux.

Nous étions donc bien embêté car rien ne pouvait assurer la régulation de la résistance chauffante... C'est à ce moment précis que nous sommes revenus sur nos premières idées d'utiliser un relais statique. Par chance Alexandre Boé en avait un en stock et a pu nous en fournir un.

Nous avons donc commencé par le tester sur une breadboard en basse tension afin de voir si il pouvait assurer sa fonction d'interrupteur et ne pas se retrouver une deuxième fois dans l'embarras comme avec le MOC2A60. Une fois encore la chance ne nous sourit pas et nous avons rencontré d'autres problèmes... En effet le montage pourtant simple d'apparence ne nous permettait pas de faire commuter le relais.

Le montage est constitué en entrée de l'arduino qui envoie la commande, d'un relais IZC-11F, d'une diode, et en sortie d'une LED et d'une résistance.

Cependant suite aux conseils avisés d'Alexandre Boé, nous devons rajouter un transistor en entrée afin de protéger l'arduino d'éventuelles fuites de tension du 220V. Malheureusement une fois le transistor ajouté le montage ne fonctionne plus. Après un certains temps de recherche nous parvenons à déceler l'erreur qui est en faite un courant beaucoup trop faible en entrée du relais du fait de l'ajout du transistor. Pour contrer ce problème nous avons testé plusieurs solutions sans succès (2 étages de transistors, augmenter la tension d'entrée...). Finalement Alexandre Boé nous a donné la solution qui était en réalité une mauvaise polarisation de notre transistor. En effet nous utilisions un transistor PNP alors que nous devions utiliser un NPN.

Nous avons enfin soudé le relais statique sur la carte électronique à la place du MOC2A60 mais nous devons quand même utiliser une breadboard à côté car cette dernière ne possède aucun pin prévu pour accueillir une diode, une résistance et un transistor.

3.1.2. Problèmes liés à l'utilisation des machines

Nous avons eu différents soucis en lien avec le bon fonctionnement des imprimantes 3D du Fabricarium. En effet lors de nos premiers choix l'utilisation des imprimantes 3D devait être bien plus importante.

Si nous prenons l'exemple de l'enrouleur, ce dernier devait en premier lieu être totalement imprimé en 3D pour une grande ressemblance avec les bobines de fil déjà existantes sur le marché. Nous avons donc modélisé cet enrouleur mais lors de l'impression de ce dernier la machine est tombée à cours de PLA ce qui a empêché son bon déroulement. Suite à cet échec nous avons alors décidé de nous tourner vers une réalisation en bois à la découpeuse laser pour plus de rapidité et moins de problèmes possibles.

3.1.3. Une mauvaise expertise...

D'autres problèmes rencontrés sont quand à eux dûs à une mauvaise expertise de notre part.

En premier lieu nous avons imaginé un système de support du tube de l'extrudeur à partir de pièces imprimées en 3D. L'idée n'était pas si mauvaise si on excepte le fait que le PLA commence à se « ramollir » dès que les températures dépassent les 60°C, hors notre bracelet chauffant élevant cette dernière aux environs de 180°C et le métal étant un très bon conducteur de chaleur nous avons préféré changer ces supports en PLA par un système de support en bois avec un joint isolant en téflon entre le tube et ce support.

Un autre problème rencontré fut une erreur de dimensionnement lors de la modélisation du support pour l'écran LCD ainsi que pour les quatre boutons, après impression nous nous sommes rendus compte que l'écran ne tenait pas parfaitement dans son support, de plus le rendu final n'était pas celui escompté. Encore une fois nous avons donc préféré nous diriger vers la découpeuse laser et sa rapidité en terme de découpage ainsi qu'une utilisation du bois qui vient parfaitement se joindre aux réalisations déjà existantes.

3.2. Perspectives d'évolution

Notre projet étant un projet étudiant sur une limite de temps restreinte, avec un budget restreint, il est perfectible sur de nombreux points. En effet nous avons déjà pu imaginer quelques potentielles améliorations sur la machine.

Le premier point envisageable, et le plus facilement réalisable, serait d'usiner une tête d'extrusion avec des performances bien meilleure au Second Lieu de Polytech. Cette tête permettrait une extrusion plus contrôlée et bien moins énergivore, avec en prime une gestion du diamètre de sortie du fil pour plus d'adaptabilité lors du recyclage.

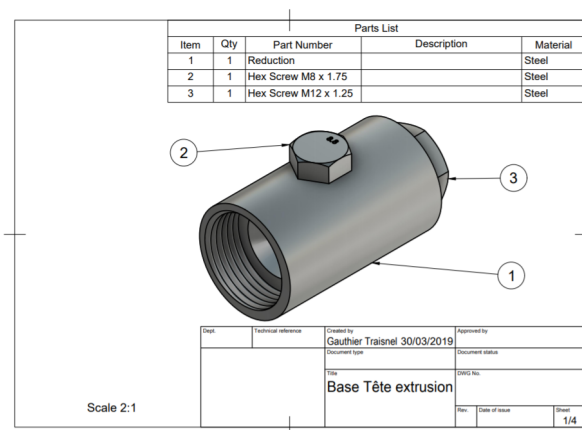


Figure 17 - Tête d'extrusion modélisée

Le deuxième point d'amélioration possible et facilement envisageable est l'extension de la carte électronique. En effet sur cette nouvelle version nous pourrions y intégrer un pont en H permettant ainsi la régulation en vitesse du moteur à courant continu sans l'utilisation d'un potentiomètre, il y aurait donc plus de précision sur la vitesse avec une meilleure régulation ainsi qu'un gain évident en consommation énergétique.

Le troisième point serait un point plutôt pratique pour de plus grosses entreprises. Il serait envisageable de créer une nouvelle version du code présent sur l'Arduino et ,avec un système proche de l'écran LCD, on pourrait choisir les caractéristiques techniques de l'appareil telles que la température de chauffe ou la vitesses de rotation des moteurs présents. Ceci pourrait permettre de recycler non pas que le PLA comme nous l'envisageons mais d'autres plastiques tels que l'ABS par exemple, même si ce dernier nécessite des précautions de chauffe dû à ses émanations de gaz toxique.

Le dernier point d'amélioration est le point le moins envisageable si le but est de rester sur une machine de type petit budget. En effet pour une esthétique plus élevée ainsi qu'une isolation thermique parfaite il pourrait être envisageable de créer une armature complète en acier.

3.3. Bilan sur les coûts de réalisation

Lorsque nous avons étudié le projet nous nous sommes placé comme étant une alternative moins coûteuse que les machines des grosses compagnies. Nous pouvons donc faire un bilan pour estimer le prix de notre machine. Pour les éléments constituant la machine en elle même, la vis sans fin, le tube ainsi que les planches reviennent à 40€. On y ajoute ensuite les achats faits par M. Redon qui s'élèvent à environ 80€. Le coût de notre machine se situe donc entre 120 et 150€ si nous voulons prendre une fourchette de prix assez large, nous sommes donc déjà dans une alternative peu onéreuse pour le marché.

Conclusion

Durant ce projet nous avons pu appréhender les différents aspects de la gestion de projet (étude, prise de décision, validation, réalisation, tests) et nous rendre compte de la difficulté de la réalisation de ce dernier de A à Z.

Nous sommes assez satisfaits de l'ensemble de ce que nous avons pu accomplir malgré que ne n'avons pas pu aller jusqu'au bout car malheureusement à l'heure actuelle nous n'avons toujours pas réussi à sortir du filament. Cependant nous avons la ferme intention de continuer les tests afin de rendre notre prototype fonctionnel car nous croyons fortement à ce que nous avons conçu. Exceptée la partie de chauffe des granulés, le reste de notre machine fonctionne parfaitement.

De plus ce projet a été satisfaisant et très enrichissant dans tous les domaines particulièrement dans les domaines de gestion de projet, d'électronique de puissance et de conception mécanique qui ne sont pas les plus proches de notre spécialité. Suivant tous les deux la spécialité Systèmes Communicants de la filière IMA, nous avons pu élargir l'ensemble de nos compétences.

Enfin, nous tenons à exprimer notre satisfaction et notre reconnaissance envers les personnes que nous avons rencontrées tout au long de ce projet qui ont permis de rendre sa réalisation agréable et dans des conditions optimales.

Annexes

Annexe 1 — Schématique de notre carte électronique

