

ESPARZA MARTÍNEZ, Jon

Polytech' Angers

PENA LARREA Rubén

62 Avenue de Notre Damme du Lac, 49000 Angers

Année 2018-2019

02 44 68 75 00

[www.polytech-angers.fr](http://www.polytech-angers.fr)

# Recyclage de matériau d'impression 3D

---

SOUTENU PAR :

**JON ESPARZA MARTÍNEZ ET RUBÉN PENA LARREA**

4<sup>ÈME</sup> ANNÉE POLYTECH ANGERS

SPECIALITÉ : QUALITÉ, INNOVATION ET FIABILITÉ

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2018-2019



**Enseignants encadrants : Mohamed Ibrahim et Laurent Saintis**







## Remerciements

Nous souhaiterions remercier plusieurs personnes qui nous ont aidé dans ce projet dans lequel nous n'avions que très peu de prérequis et de connaissances. Sans elles, nous n'aurions sans doute pas abouti à ce résultat.

Tout d'abord merci à messieurs Mohamed Ibrahim et Laurent Saintis, nos professeurs référents pour son encadrement, ses conseils et son temps. Nous remercions également messieurs Franck Mercier ainsi qu'à Hassan Bouljroufi pour leurs conseils et leur accueil. Enfin, nous remercions à la totalité de Polytech' Angers, pour leur suivi ainsi que la confiance qu'ils nous ont accordé.

## Sommaire

Remerciements .....	4
Liste de tableaux, graphiques, images et figures : .....	6
1. Présentation générale .....	8
1.1. Contexte du projet .....	8
1.2. Cahier de charges.....	8
1.3. Organisation du projet .....	9
2. Veille technologique .....	9
2.1. Système industriel.....	9
2.2. Système Home Made.....	10
2.3. Choix d'architecture du système .....	11
3. Sous-système d'extrusion .....	12
4. Sous-système de refroidissement .....	14
5. Sous-système de tirage.....	19
5.1. Rouleaux .....	19
5.2. Système de traction .....	21
5.3. Système de réduction mécanique .....	23
5.4. Assemblage final .....	26
6. Sous-système de mesure du calibre .....	27
6.1. Support .....	27
6.2. Capteur du calibre.....	27
6.3. Système de control .....	28
7. Sous-système de bobinage .....	29
7.1. Fabrication .....	29
7.2. Assemblage et modifications .....	31
8. Assemblage du système .....	36
8.1. Alignement.....	36
8.2. Fixation.....	37
8.3. Réalisation de tests .....	37
9. Conclusion .....	38
Bibliographie .....	39
Annexes .....	40
Annexe I : Fiches techniques .....	8
Annexe II : TO DO LIST .....	8
Annexe III: Mode d'emploi .....	8

## Liste de tableaux, graphiques, images et figures :

### Liste de tableaux :

TABLEAU 1 SOUS-SYSTEMES .....	10
TABLEAU 2 RESULTATS DE LA PRISE DE DONNEES .....	22
TABLEAU 3 COMPARAISON DES SOLUTIONS.....	25

### Liste de graphiques :

GRAPHIQUE 1 RELATION VITESSE/VOLTAGE AO-GND .....	23
---	----

### Liste d'images :

IMAGE 1 EXTRUDEUR DE FILASTRUDER .....	8
IMAGE 2 SYSTEME INDUSTRIEL .....	9
IMAGE 3 SYSTEME EN TROIS ETAPES AVEC PRODUITS FILASTRUDER [2] .....	10
IMAGE 4 SYSTEME EN QUATRE ETAPES AVEC REFROIDISSEMENT D'AIR FORCE [3] .....	10
IMAGE 5 SYSTEME EN QUATRE ETAPES AVEC REFROIDISSEMENT D'EAU [3] .....	11
IMAGE 6 SYSTEME EN CINQ ETAPES AVEC REFROIDISSEMENT D'AIR [4] .....	11
IMAGE 7 REPRAPABLE RECYCLEBOT : OPEN SOURCE 3-D PRINTABLE EXTRUDER FOR CONVERTING PLASTIC TO 3-D PRINTING FILAMENT .....	12
IMAGE 8 ROULEMENT ET RONDELLES CASSEES .....	12
IMAGE 9 PARTIE DE L'AXE NECESSAIRE DE FAIRE LA MODIFICATION .....	13
IMAGE 10 RESULTAT FINAL DE LA MODIFICATION .....	13
IMAGE 11 SCHEMA DE LA POLARITE DU THERMOCOUPLE DANS LE DOCUMENT DE MODE D'EMPLOI ...	14
IMAGE 12 14 SYSTEME D'EAU .....	14
IMAGE 13 SYSTEME DE REFROIDISSEMENT HUGH LYMAN [2] .....	15
IMAGE 14 RESULTATS DES DIFFERENTS POMMEAUX .....	16
IMAGE 15 POMPE D'EAU .....	17
IMAGE 16 MODIFICATION DES COMPOSANTS DE LA POMPE.....	18
IMAGE 17 JOINT .....	18
IMAGE 18 ASSEMBLAGE PREVISIONNEL DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT .....	19
IMAGE 19 ASSEMBLAGE MOULE-ARBRE .....	20
IMAGE 20 ROULEAU RESULTANT APRES DESASSEMBLAGE DU MOULE .....	20
IMAGE 21 MONTAGE DU CIRCUIT DE VARIATION DE VITESSE .....	21
IMAGE 22 : SCHEMA DU CIRCUIT DE VARIATION DE VITESSE .....	21
IMAGE 23 ASSEMBLAGE DE MESURE .....	22
IMAGE 24 REDUCTEUR 500 : 1 DE RS COMPONENTS.....	25
IMAGE 25 REDUCTEUR 100 : 1 .....	26
IMAGE 26 REDUCTEUR 5 : 1 .....	26
IMAGE 27 DETAIL ARBRE MODIFIE .....	26
IMAGE 28 : ASSEMBLAGE FINAL DU SOUS-SYSTEME DE TIRAGE .....	26
IMAGE 29 CORPS DU CAPTEUR .....	27
IMAGE 30 PIEDS DU CAPTEUR.....	27
IMAGE 31 COUVERCLE DU CAPTEUR.....	27
IMAGE 32 CAPTEUR .....	27
IMAGE 33 ASSEMBLAGE DU SOUS-SYSTEME DE MESURE DU CALIBRE .....	28
IMAGE 34 SYSTEME DE GUIDAGE.....	30
IMAGE 35 BOITIER .....	30
IMAGE 36 BOBINEUR.....	31
IMAGE 37 FABRICATION DE L'ARBRE .....	31

IMAGE 38 RESULTAT FINAL DE L'ARBRE.....	31
IMAGE 39 GUIDES POUR LES PIECES EN BOIS .....	32
IMAGE 40 ARBRES METALLIQUES.....	34
IMAGE 41 FIXATION DU SYSTEME DE TRACTION .....	35
IMAGE 42 ASSEMBLAGE FINAL.....	36
IMAGE 43 MARQUES D'ALIGNEMENT .....	36
IMAGE 44 PIECES DE GUIDAGE.....	37
IMAGE 45 SUPPORTS BOBINAGE.....	37
IMAGE 46 SUPPORTS REFROIDISSEMENT .....	37
IMAGE 47 SUPPORTS EXTRUDEUR .....	37
IMAGE 48 MACHINE EN TRAIN DE FONCTIONNER.....	38
IMAGE 49 RESULTATS DES ESSAIS .....	38

### Liste de figures :

FIGURE 1 PREMIER PROTOTYPE DU BOBINAGE .....	8
FIGURE 2 SYSTEME D'AIR FORCE .....	14
FIGURE 3 ASSEMBLAGE DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT .....	15
FIGURE 4 POMMEAU.....	15
FIGURE 5 COUVERCLE.....	16
FIGURE 6 TYPES DE COUVERCLE.....	16
FIGURE 7 SUPPORT DU POMMEAU.....	17
FIGURE 8 CAPTEUR D'EAU .....	17
FIGURE 9 STRUCTURE DU SOUS-SYSTEME DE TIRAGE .....	19
FIGURE 10 : CAD DES ROULEAUX .....	20
FIGURE 11 REDUCTEUR 40 : 13 .....	23
FIGURE 12 RELATION 100 : 1 .....	24
FIGURE 13 RELATION 5 : 1 .....	24
FIGURE 14 RELATION 120 : 1 .....	25
FIGURE 15 RELATION 25 : 6 .....	25
FIGURE 16 CONNEXION DU CEM5461AE .....	28
FIGURE 17 PIECES EN BOIS .....	29
FIGURE 18 GUIDE 1.....	32
FIGURE 19 GUIDE 2.....	33
FIGURE 20 GUIDE 3.....	33
FIGURE 21 LIMITATION DE MOUVEMENT .....	33
FIGURE 22 MODIFICATIONS DE LA CAME CYLINDRIQUE.....	34
FIGURE 23 REDUCTEUR DES ENGRENAGES PLANETAIRES 1379 : 1.....	35
FIGURE 24 MODIFICATION DE L'ARBRE DU COTE DU BOBINEUR .....	35



# 1. Présentation générale

## 1.1. Contexte du projet

Dans le cadre du FabLab, IstiaLab, une quantité non négligeable de matières est utilisée pour l'impression 3D, ce qui est également dans le cadre de certains TP d'étudiants dans le parcours ingénieurs. Du coup, un nombre important de rebus est généré sans solution de recyclage appropriée. Cette quantité de matière non utilisée peut donc être recyclée pour une réutilisation avec les imprimantes 3D.

Des machines existent sur le marché mais à un coût prohibitif en comparaison du bénéfice. De plus, le matériau produit doit être caractérisé pour une utilisation optimale sur les imprimantes 3D.

Le projet fait suite à un projet d'étudiant ERASMUS ayant défini le processus de recyclage ainsi que les outils des différentes étapes (Broyage, extrusion puis bobinage). Ci-dessous, un premier prototype du bobinage.

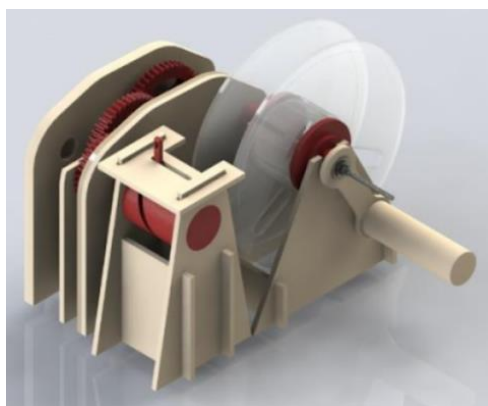


FIGURE 1 PREMIER PROTOTYPE DU BOBINAGE

De plus, un extrudeur en photo ci-dessous a été acheté afin de concevoir la machine complète. Enfin, le broyeur n'est dans un premier temps pas à concevoir, car un projet à l'ENSAM d'Angers est en cours pour cette partie.



IMAGE 1 EXTRUDEUR DE FILASTRUDEUR

## 1.2. Cahier de charges

Il s'agit donc de concevoir le processus de recyclage ainsi que les différentes étapes (Extrusion, Refroidissement puis Bobinage). A partir des matériaux ainsi créés à partir des différents rebus initiaux (ABS, PLA...), il faudra les caractériser, c'est-à-dire définir la température de fusion pour une utilisation optimale avec une imprimante 3D.

La conception devra :

- Paramétrer l'extrudeur pour une température de fusion.
- Concevoir le système de bobinage et, en fonction du temps, prévoir une motorisation.
- Concevoir le sous-système de refroidissement.
- Assembler l'ensemble des éléments.

### 1.3. Organisation du projet

Afin d'organiser au mieux nos travaux, nous avons réalisé une To-Do-List ainsi qu'un calendrier prévisionnel. Ces deux éléments nous ont beaucoup aidés durant le projet pour gérer le temps et savoir les tâches qu'ils nous restaient à faire. Vous retrouverez ces documents en Annexe II : TO-DO-LIST. La répartition des différentes tâches a été faite en fonction des compétences de chacun des composants du groupe.

## 2. Veille technologique

Afin d'organiser notre recherche de veille technologique, nous avons décidé de la diviser parmi les systèmes industriels et ceux *home made*. Étant donné que les systèmes déjà fabriqués dépassaient le budget disponible, nous avons cadré notre recherche vers les morphologies de fabrication les plus utilisées et pas vers un système à acheter.

Après une première recherche, nous avons trouvé que, pour réussir à avoir un filament de bonne qualité, les deux paramètres primordiaux sont la tension de tirage ainsi que la température de refroidissement. C'est pourquoi ces deux sous-systèmes sont très importants pour avoir un bon résultat.

### 2.1. Système industriel

Parmi les systèmes de fabrication industriels, la morphologie est presque toujours la même. Après le sous-système d'extrusion (déjà acquis par l'université) nous trouvons 4 sous-systèmes différents [1] :

- **Sous-système de Refroidissement** : Chargé de réduire la température du filament de celle d'extrusion à la température ambiante. Ils existent systèmes de refroidissement d'air forcé ou d'eau.
- **Sous-système de Tirage** : Chargé de tractionner le filament afin d'assurer une bonne tension de tirage.
- **Sous-système de Mesure** : Chargé de mesurer le diamètre du filament.
- **Sous-système de Bobinage** : Chargé de bobiner le filament autour d'une bobine.

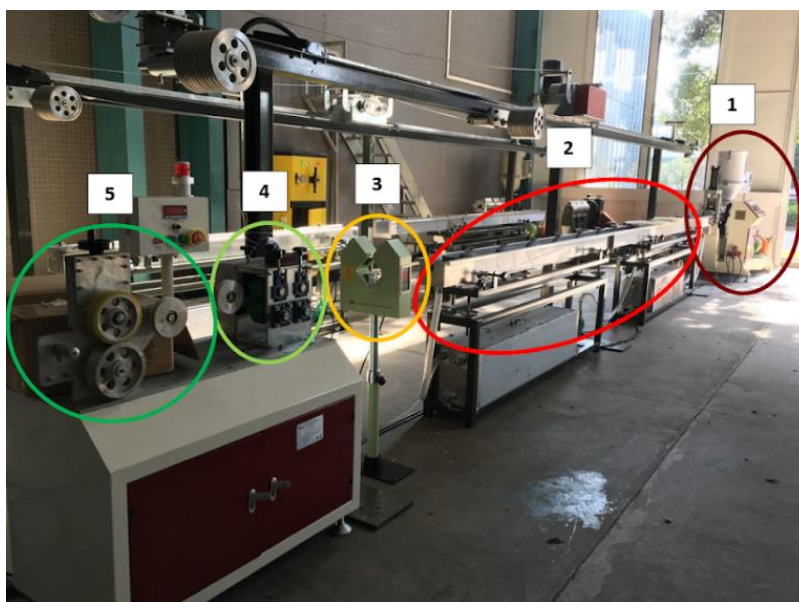


IMAGE 2 SYSTEME INDUSTRIEL

Numéro	Système
1	Extrudeur
2	Refroidissement
3	Mesure
4	Tirage
5	Bobinage

TABLEAU 1 SOUS-SYSTEMES

## 2.2. Système Home Made

Néanmoins, ayant déjà une morphologie très claire des systèmes industriels, nous avons décidé aussi de faire des recherches parmi les systèmes *home made* car l'information est beaucoup plus détaillée. Dans ce type de systèmes, la principale différence est le nombre d'étapes ainsi que son ordre de placement et le type de refroidissement. Nous pouvons trouver quelques exemples ci-dessous :

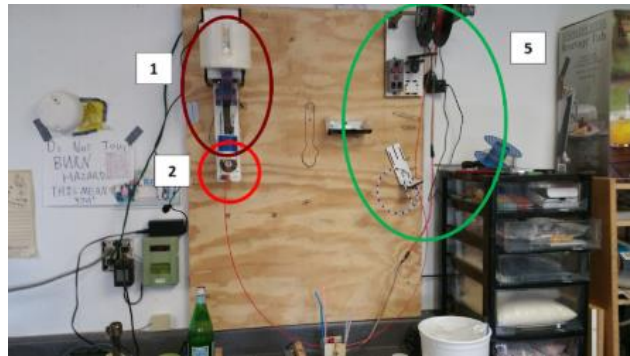


IMAGE 3 SYSTEME EN TROIS ETAPES AVEC PRODUITS FILASTRUDER [2]

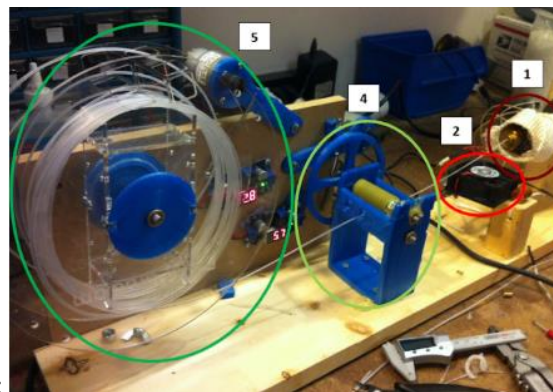


IMAGE 4 SYSTEME EN QUATRE ETAPES AVEC REFROIDISSEMENT D'AIR FORCE [3]

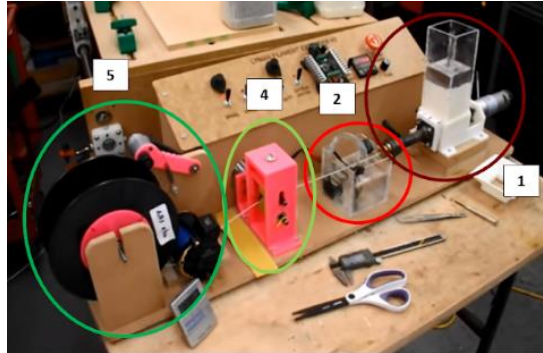


IMAGE 5 SYSTEME EN QUATRE ETAPES AVEC REFROIDISSEMENT D'EAU [3]

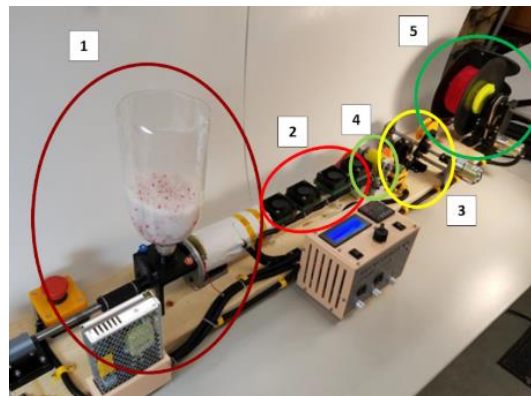


IMAGE 6 SYSTEME EN CINQ ETAPES AVEC REFROIDISSEMENT D'AIR [4]

### 2.3. Choix d'architecture du système

Vue que notre objectif est celui de concevoir un système qui fabrique un filament de bonne qualité, nous avons décidé de faire attention aux systèmes industriels où :

- L'importance du système de tirage et réfrigération est primordiale pour avoir une bonne tolérance.
- Le système est linéaire afin de garantir la compacité du même ainsi que la qualité du calibre (filament constamment en tension).

Néanmoins, vue que la conception d'un système autant optimisé et développé n'est pas viable à cause de la maturité de ce projet (cadré vers le développement d'un prototype), nous avons considéré opportun d'optimiser le plus possible un système *home made* qui s'adapte le plus possible à la situation du Fablab.

C'est pourquoi, nous nous sommes basés sur la solution proposée dans l'article "*RepRapable Recyclebot : Open source 3-D printable extruder for converting plastic to 3-D printing filament*" [4].



## Hardware Article

## RepRapable Recyclebot: Open source 3-D printable extruder for converting plastic to 3-D printing filament

Aubrey L. Woern<sup>a</sup>, Joseph R. McCaslin<sup>b</sup>, Adam M. Pringle<sup>c</sup>, Joshua M. Pearce<sup>b,c,d,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering-Engineering Mechanics, Michigan Technological University, Houghton, MI 49931, USA

<sup>b</sup> Department of Electrical & Computer Engineering, Michigan Technological University, Houghton, MI, USA

<sup>c</sup> Department of Materials Science & Engineering, Michigan Technological University, Houghton, MI, USA

<sup>d</sup> Department of Electronics and Nanoengineering, Aalto University, P.O. Box 13500, FI-00076 Aalto, Finland

### IMAGE 7 REPRAPABLE RECYCLEBOT : OPEN SOURCE 3-D PRINTABLE EXTRUDER FOR CONVERTING PLASTIC TO 3-D PRINTING FILAMENT

Dans ce cas, l'architecture du système est composée par cinq sous-systèmes (même morphologie qu'au système industriel) qui assurent la fabrication de filament de manière continuée ainsi qu'avec une correcte qualité du filament. Ces cinq stations peuvent être divisés en deux sous-parties :

- **Sous-système de production de filament** : Chargé de fabriquer le filament et de le mettre autour d'une bobine. Cette sous-partie est composée par le premier et le dernier sous-système de l'assemblage :
  - Sous-système d'extrusion
  - Sous-système de bobinage
- **Sous-système de contrôle qualité** : Chargé de veiller pour la qualité du filament en donnant à l'assemblage les outils nécessaires pour créer un filament qui se tienne aux tolérances de fabrication. Cette sous-partie est composée par les sous-systèmes ci-dessous :
  - Sous-système de refroidissement
  - Sous-système de tirage
  - Sous-système de mesure du calibre

### 3. Sous-système d'extrusion

Avec l'extrudeur acheté par l'école en avant, nous avons le système pour obtenir le filament. Néanmoins, nous avons plusieurs tâches à faire avant d'avoir la machine disponible pour son utilisation. Au début, nous avons reçu la machine démontée car il fallait faire une réparation d'un roulement axial. Étant donné que les rondelles où il s'appuyait étaient aussi usées, il faudrait les échanger par d'autres.



IMAGE 8 ROULEMENT ET RONDELLES CASSEES

Pour éviter une autre fois cette problème, nous avons choisi de commander des pièces de rechange un peu plus grands et de la marque INA. Ce fournisseur garantit des roulements de bonne qualité et, vue que nous avons agrandis leur taille, le système ne va pas se casser autant facilement car il est surdimensionné.

Quand les pièces sont arrivées, nous nous sommes rendu compte que le diamètre intérieur était 0,5 mm mineur que l'axe qui connecte la vis sans fin avec le moteur (12 mm de diamètre intérieur du roulement face aux 12,5 mm de diamètre de l'axe). Pour adapter le roulement, nous devons décider entre :

- Commander des nouvelles pièces.
- Contacter avec quelqu'un qui pouvait modifier le diamètre de l'axe avec un tour.
- Modifier nous-mêmes l'axe au FabLab avec un touret à meuler.



*IMAGE 9 PARTIE DE L'AXE NECESSAIRE DE FAIRE LA MODIFICATION*

Finalement nous avons pris la dernière solution parce-que c'était la plus rapide, simple et il n'était pas nécessaire une tolérance exigeante. Le résultat est celui-ci :



*IMAGE 10 RESULTAT FINAL DE LA MODIFICATION*

Après avoir fait les modifications mécaniques, nous avons commencé avec l'assemblage en suivant les indications du document de mode d'emploi du Filastruder. Dans la partie électrique de l'assemblage du même, nous avons trouvé que les fils du thermocouple n'avaient pas polarité aucune. Pour nous assurer de la bonne disposition des fils dans les bornes, nous avons fait la vérification des lectures avec un polimètre en chauffant le thermocouple. De plus, pour éviter ce problème, nous avons fait un dessin dans le document de mode d'emploi.

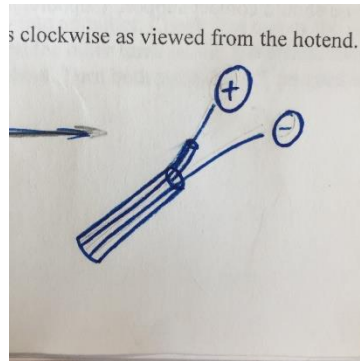


IMAGE 11 SCHEMA DE LA POLARITE DU THERMOCOUPLE DANS LE DOCUMENT DE MODE D'EMPLOI

#### 4. Sous-système de refroidissement

Pour les applications industrielles, le filament déjà extrudé est refroidi dans un bain d'eau. Cela permet de diminuer la température et durcir le plastique avec la forme circulaire souhaitée. Néanmoins, la plupart des systèmes *hand made* ont un système de refroidissement basés dans la circulation d'air forcé.

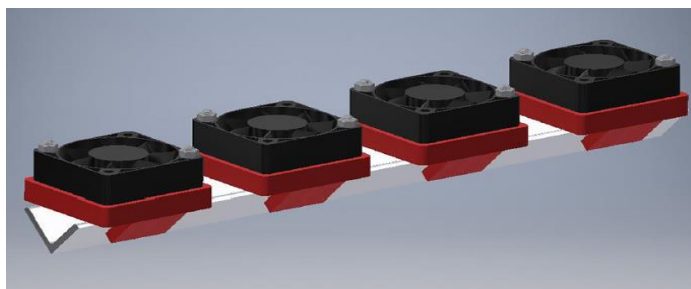


FIGURE 2 SYSTEME D'AIR FORCE



IMAGE 12 14 SYSTEME D'EAU

L'utilisation d'air est plus simple parce qu'il est requis seulement un espace qui permet le durcissement du filament. Étant donné que cet espace peut devenir un problème dans la compaction du système global, c'est recommandable d'ajouter un ventilateur qui force à l'air à refroidir le filament. De cette manière, la vitesse de l'air se modifie, un paramètre fondamental pour le refroidissement.

Un autre paramètre de refroidissement qui permet le compactage est la densité du fluide utilisé. En augmentant la masse de celui-ci, il y a plus de matière capable d'absorber la chaleur provenant du filament. C'est pour cela que la plupart des systèmes de refroidissement industriels fonctionnent avec de l'eau. Il faut tenir en compte que l'eau est environ 1000 fois plus dense que l'air donc il y a besoin de moins quantité de fluide et d'espace pour gérer un système de refroidissement avec l'eau.

De plus, dans le rapport de la machine Recyclebot V5.0 [3], l'auteur a remarqué que, dans la prochaine version, le refroidissement sera fait avec de l'eau. Alors, nous avons développé un système basé dans l'utilisation de ce fluide car, dans le monde industriel et *hand made*, c'est le fluide plus utilisé dans les versions plus optimisées. Notre proposition est une optimisation du système développé par Hugh Lyman [4].

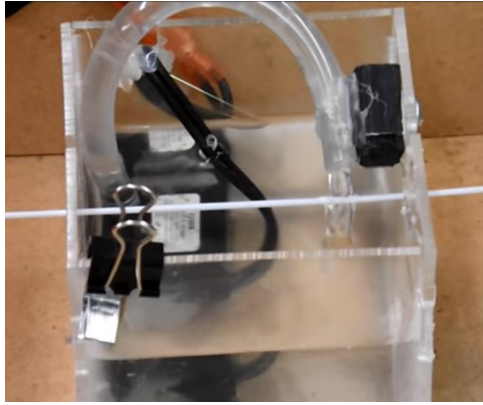


IMAGE 13 SYSTEME DE REFROIDISSEMENT HUGH LYMAN [2]

Premièrement, nous avons trouvé un problème car la surface de contact entre le fil et l'eau n'est pas assez grande, raison pour laquelle nous avons décidé de l'augmenter longitudinalement en ajoutant un pommeau orienté dans la direction d'avance du filament. Donc, nous avons conçu l'assemblage ci-dessous :

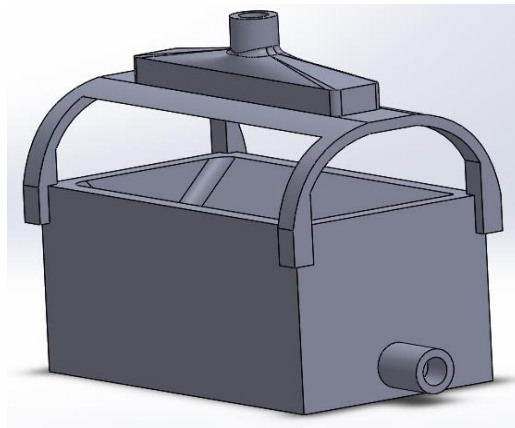


FIGURE 3 ASSEMBLAGE DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT

Notre sous système de refroidissement est composé par les pièces ci-dessous :

- **Pommeau** : composant qui héberge le couvercle juste en-dessus du filament.

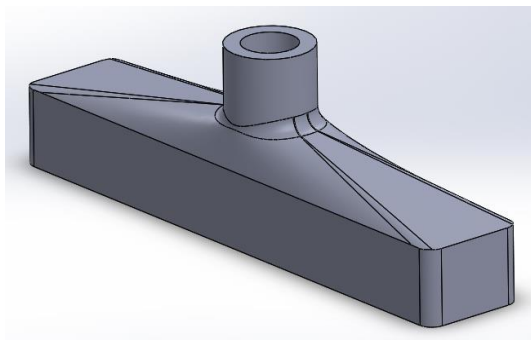


FIGURE 4 POMMEAU

- **Couvercle** : composant troué avec une forme spécifique pour allonger la distance de refroidissement et assurer la répartition homogène de l'eau par tout le pommeau.



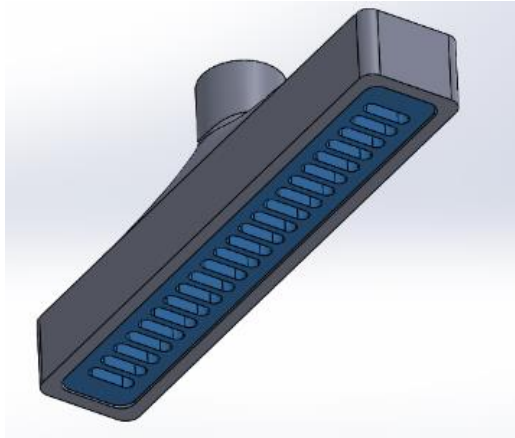


FIGURE 5 COUVERCLE

Pour avoir une répartition plus uniforme de l'eau, nous avons développé plusieurs types de couvercles avec différentes formes et distributions des trous.

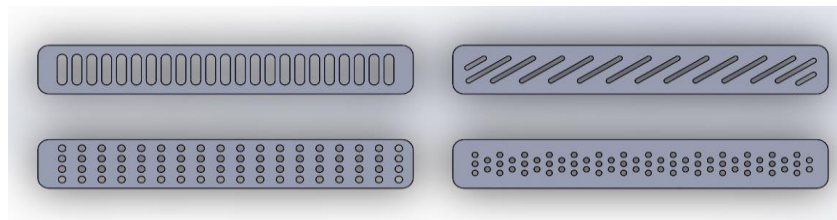


FIGURE 6 TYPES DE COUVERCLE

Ces configurations permettent la sortie d'eau avec débits et pressions différents. Cela peut affecter à la répartition de l'eau tout au long du pommeau ainsi qu'à la vitesse de refroidissement. C'est pour cette raison que nous avons testé les quatre types de couvercles. Celles avec des rainures ont obtenu un résultat non uniforme. Néanmoins, les couvercles troués ont réussi à avoir une distribution plus homogène de l'eau. Ci-dessous nous pouvons voir les différents résultats :

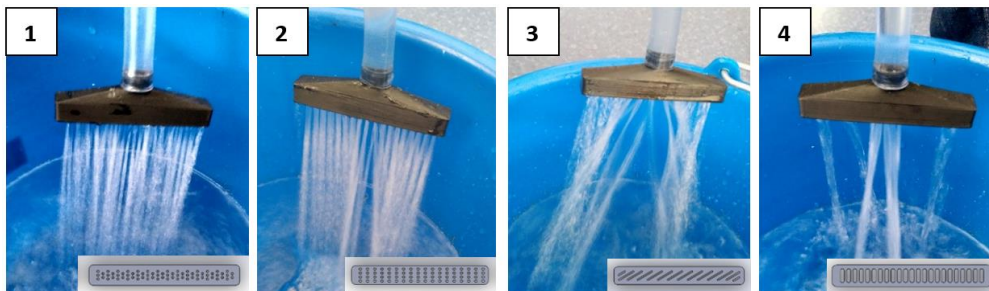


IMAGE 14 RESULTATS DES DIFFERENTS POMMEAUX

La sortie plus uniforme est la première parce que les trous forcent à l'eau à sortir uniformément partout le couvercle. La deuxième option a un comportement très similaire mais la répartition est moins homogène. La troisième et la quatrième ne permettent pas d'obtenir cette distribution uniforme que nous désirons. Finalement, nous avons choisi la première option pour notre système.

- **Support du pommeau** : c'est le composant qui assure la fixation entre le pommeau et le capteur d'eau.

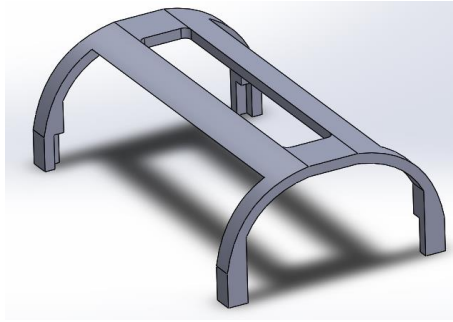


FIGURE 7 SUPPORT DU POMMEAU

- **Capteur d'eau** : son objectif principal est celui de capter l'eau pour approvisionner la pompe.

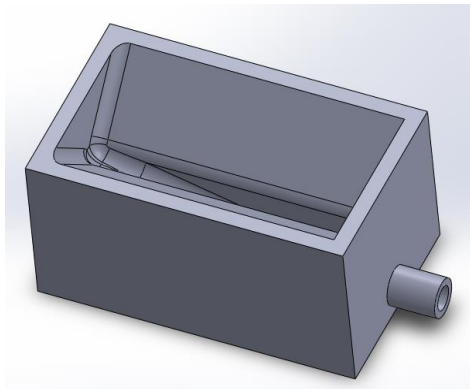


FIGURE 8 CAPTEUR D'EAU

- **Pompe et tubes** : initialement nous avons commandé une pompe déjà fabriqué à Leroy Merlin. Cependant, après la livraison de la même nous nous sommes rendu compte de que la pompe requérait une puissance supérieure à celle du moteur disponible. C'est pourquoi nous avons décidé d'imprimer une pompe que nous avons trouvé sur Thingiverse [5].



IMAGE 15 POMPE D'EAU

Cette pompe est composée par trois pièces qui forment l'assemblage total. Initialement, la taille des tubes d'entrée et de sortie était prévue pour le calibre des tubes qui joignaient la pompe avec le pommeau et le capteur d'eau. Cependant, une annulation dans la commande des tubes a fait impossible la connexion des composants avec la taille prévue. C'est pourquoi nous avons décidé de recycler quelques morceaux de tubes de diamètre intérieur 10 mm que nous avons trouvé au Fablab afin de trouver une

solution rapide et efficace. Néanmoins, la taille de ces tubes ne s'adaptait pas à celle de la pompe. Pour cette raison, nous avons dû modifier notre pompe en cherchant une union étanche avec les tubes.

Vue que le diamètre des tubes est inférieur à celui de la pompe, nous avons fait une réduction de ceux derniers pour que l'union soit satisfaisante. Alors, en maintenant la taille de l'hélice, nous avons modifié la forme du couvercle de la pompe ainsi que celle du corps de la même comme nous pouvons voir ci-dessous :



IMAGE 16 MODIFICATION DES COMPOSANTS DE LA POMPE

Néanmoins, la pompe n'était pas complètement étanche car il avait des filtrations entre le circuit hydraulique et le moteur à travers de l'axe. C'est pourquoi nous avons considéré opportun de concevoir un joint pour assurer l'étanchéité dans le moteur. Cette pièce a été imprimé avec du filament flexible en obtenant ce résultat :



IMAGE 17 JOINT

Cependant, nous n'avons pas réussi à obtenir un système de refroidissement fiable dans le temps que nous avons car ils existaient encore des filtrations d'eau dans le moteur. C'est pour cette raison que nous avons décidé d'utiliser la pompe commandée en attente d'une solution future.

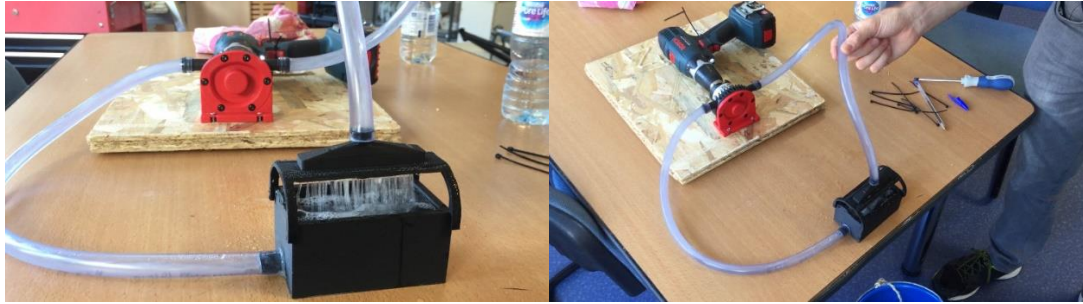


IMAGE 18 ASSEMBLAGE PREVISIONNEL DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT

## 5. Sous-système de tirage

Afin d'éviter la déformation ou le découpage du filament, il est très important de contrôler la vitesse de pas. Avec ce paramètre, nous pouvons modifier le diamètre du filament en raison de décimes de millimètres. C'est pourquoi, l'addition d'une étape de tirage dans notre solution est indispensable.

Dans ce cas, nous avons retenu la solution proposée dans l'article *open source* [4] car elle dispose d'une architecture très habituelle dans le monde du recyclage de matériau d'impression 3D. De plus, c'est une solution fiable et dans une étape de développement considérablement avancée. Néanmoins, ce sous-système de tirage ne s'adapte pas complètement aux exigences de notre système complet, raison pour laquelle nous avons dû ajouter quelques modifications.

La solution originale est un assemblage de deux rouleaux en uréthane qui tirent du filament. Ceux-ci sont placés sur un support que, grâce à un système vis-écrous, permet de modifier la hauteur d'un des rouleaux ainsi que de fixer la structure au sol. De plus, un des rouleaux est accroché à un moteur à l'aide d'une courroie qui transmet le mouvement parmi ces deux composants.

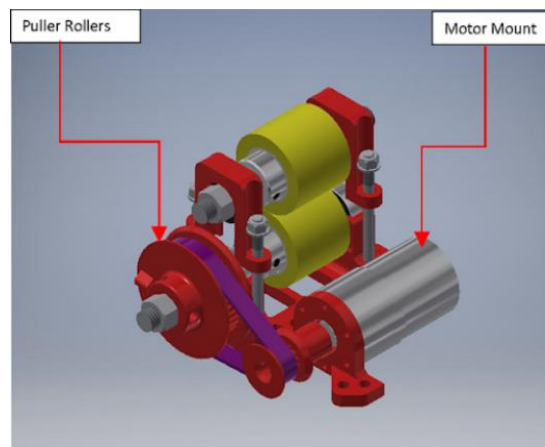


FIGURE 9 STRUCTURE DU SOUS-SYSTEME DE TIRAGE

### 5.1. Rouleaux

Par rapport aux rouleaux, le propre article donnait une solution déjà fabriquée pour ce composant. Néanmoins, le prix était considérablement élevé (45,86 \$ sans frais de livraison), raison pour laquelle nous avons décidé de fabriquer les rouleaux nous-mêmes. En partant du support CAD fourni par le fabricant, nous avons imprimé l'arbre du rouleau.



FIGURE 10 : CAD DES ROULEAUX

De plus, nous avons dessiné un moule sur SolidWorks qui nous permettait de fabriquer les rouleaux en silicone. Ce moule, composé par 3 pièces, avec l'arbre déjà imprimé fait possible la fabrication du rouleau d'une manière rapide et simple.



IMAGE 19 ASSEMBLAGE MOULE-ARBRE

Avec du scotch, nous avons fait l'assemblage des deux pièces semi-circulaires autour du cylindre. De cette façon, nous avons le moule prêt pour ajouter la silicone avec le durcisseur et, comme résultat final, nous avons eu le rouleau ci-dessous :



IMAGE 20 ROULEAU RESULTANT APRES DESASSEMBLAGE DU MOULE

Les étapes suivies pour la fabrication sont :

- Assemblage du moule avec les pièces imprimées en 3D et scotch.
- Mélange de la silicone avec le durcisseur.

- Extraction des bulles de la silicone dans la chambre à vide.
- Versage de la silicone dans le moule.
- Extraction des bulles du moule dans la chambre à vide.
- Repos de 24 heures en attendant à la solidification du moule.
- Désassemblage des moules.

De plus, il faut faire attention au versage de la silicone dans un seul point du moule afin d'attraper le minimum de bulles d'air possibles à l'intérieur du moule.

## 5.2. Système de traction

Vue que le système de tirage a besoin d'une source de mouvement, nous avons décidé d'ajouter un moteur de courant continu (12 V, 3600 tpm et 1.2 A) avec un régulateur de vitesse qui utilise la technologie PWM d'Arduino.

Cet ensemble de composants nous permet de faire tourner les rouleaux ainsi que de régler sa vitesse de rotation avec un potentiomètre. De plus, ce système sera aussi utilisé plus tard dans le procès de bobinage.

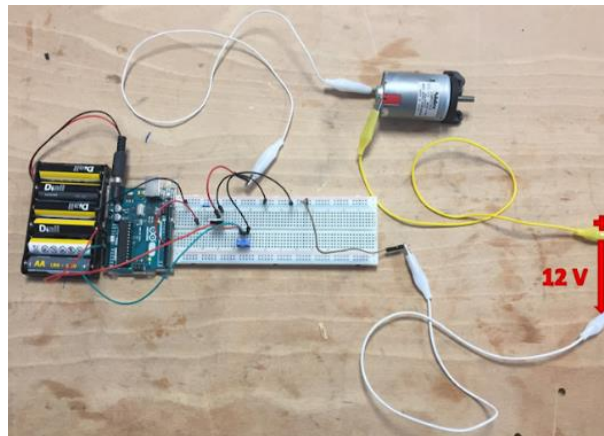


IMAGE 21 MONTAGE DU CIRCUIT DE VARIATION DE VITESSE

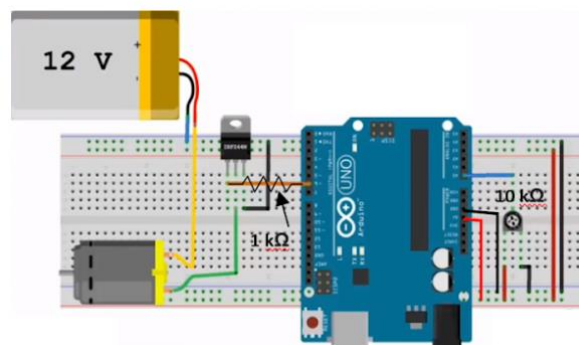


IMAGE 22 : SCHEMA DU CIRCUIT DE VARIATION DE VITESSE

Les composants de ce circuit sont :

- 1 x Alimentation du moteur 12 V
- 1 x Moteur CC Nidec, 12 V c.c., 9,2 W, 3 600 tr/mn, 1.2 A
- 1 x Protoboard Arduino
- 1 x Alimentation Arduino
- 1 x Arduino UNO R3
- 1 x Potentiomètre 10 kΩ
- 1 x Resistance 1 kΩ
- 1 x MOSFET, Canal-N, 49 A 55 V TO-220AB, 3 broches

Afin de connaître mieux notre moteur et dimensionner le système de transmission mécanique entre le moteur et les rouleaux, nous avons considéré opportun de mesurer la vitesse de rotation du moteur en fonction des différentes valeurs de voltage en bornes du potentiomètre (élément de réglage de la vitesse du moteur).

Cependant, étant donné que nous n'avions pas un tachymètre de précision disponible de manière immédiate, nous avons utilisé les accéléromètres de nos portables pour (avec l'application *VibSensor*), mesurer la fréquence dans laquelle vibre le moteur. À partir de cette lecture de données, nous pouvons savoir la vitesse de rotation du moteur. Donc, afin de réaliser les tests, nous avons préparé l'assemblage ci-dessous :

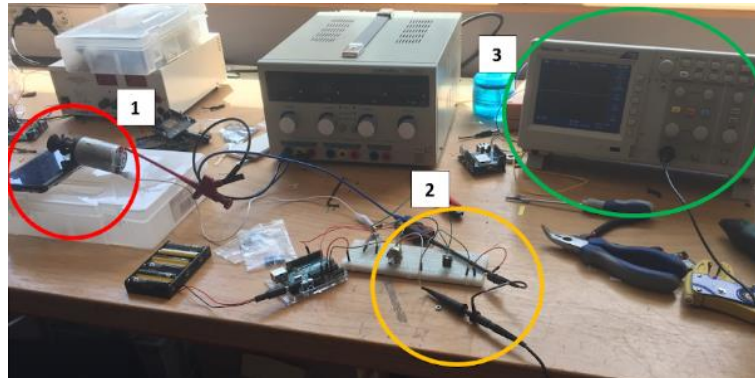


IMAGE 23 ASSEMBLAGE DE MESURE

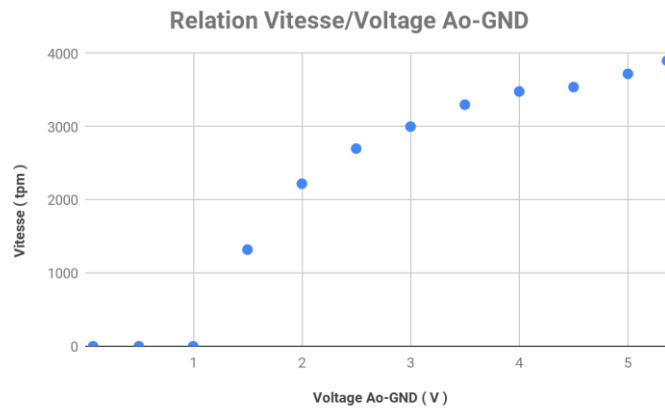
1. Moteur sur portable pour la mesure des vibrations.
2. Mesure de voltage en bornes du potentiomètre ( $A_0 - GND$ ).
3. Oscilloscope.

Une fois préparé et allumé l'assemblage, nous avons commencé à prendre des mesures en tournant le potentiomètre, ce qu'il produisait une accélération du moteur. Les données prises sont ceux ci-dessous :

Voltage $A_0 - GND$ (V)	Vitesse (Hz)	Vitesse (tpm)
0.08	0	0
0.50	0	0
1.00	0	0
1.50	22	1320
2.00	37	2220
2.50	45	2700
3.00	50	3000
3.50	55	3300
4.00	58	3480
4.50	59	3540
5.00	62	3720
5.36	65	3900

TABLEAU 2 RESULTATS DE LA PRISE DE DONNEES

D'après ce tableau, nous avons réalisé le graphique suivant :



GRAPHIQUE 1 RELATION VITESSE/VOLTAGE AO-GND

Donc, nous pouvons conclure que le rang de vitesses auxquelles le moteur travail sont considérablement supérieures à celles du système de tirage. Tenant en compte que la vitesse nominale de fonctionnement du moteur est de 3600 tpm et que les rouleaux doivent tourner à 3 tpm, c'est nécessaire d'ajouter un système de réduction mécanique.

### 5.3. Système de réduction mécanique

Étant donné que notre système a besoin d'un réducteur mécanique, nous avons considéré opportun d'analyser les différentes solutions disponibles afin de trouver celle qui nous convient le plus. Avant tout, nous devons faire attention au rapport de transmission nécessaire dans ce cas. En vue d'assurer une vitesse de tirage correcte, les rouleaux devraient tourner à 3 tpm pour être en phase avec l'extrudeur.

$$\overline{V_{Extrusion}} = 15 \cdot \frac{inch}{min} \cdot \frac{25,4 mm}{1 inch} = 381 \frac{mm}{min}$$

$$R_{Rouleaux} = 20 mm$$

$$\omega_{Rouleaux} = \frac{\overline{V_{Extrusion}}}{R_{Rouleaux}} = \frac{381 \frac{mm}{min}}{20 mm} \cdot \frac{1 tour}{2\pi rad} = 3,03 tpm \approx 3 tpm$$

Comme nous avons conclu avant, le rapport de transmission du tirage est, en travaillant à la vitesse maximale du moteur, de 1200 : 1. Néanmoins, le système de réduction mécanique proposé dans l'article *open source* [4] était de 40 : 13, ce qu'il était possible grâce aux réducteurs déjà inclus aux moteurs utilisés dans cette solution. Cependant, les moteurs que nous allons utiliser ne disposent pas de ces composants mécaniques, raison pour laquelle nous devons les développer nous-mêmes.

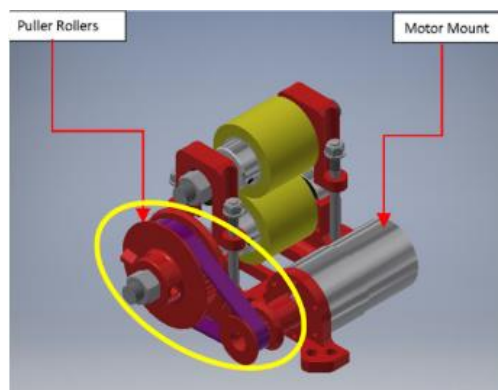


FIGURE 11 REDUCTEUR 40 : 13



En cherchant le système le plus adapté à la connexion entre le moteur et les rouleaux, nous voulions trouver le rapport de transmission plus petit possible. Le rapport 1200 : 1, nécessaire pour que le moteur travaille à sa vitesse nominale, était excessivement haut. C'est pourquoi nous avons décidé de faire travailler au moteur à une vitesse plus lente, mais suffisante, pour garantir un couple continue. Avec l'étude que nous avons fait du comportement du moteur, nous avons considéré adéquat la vitesse de 1400 tpm. De cette manière, le rapport de transmission souhaité est maintenant de 500 : 1. Afin d'obtenir ce rapport, nous avons trouvé trois solutions différentes :

- **Réducteur planétaire imprimé en 3D avec PLA**

Sur le site d'internet Thingiverse [6] , nous avons trouvé un réducteur d'engrenages planétaires 100 : 1 qui peuvent s'ajouter à un système de 2 engrenages 5 : 1 [7] [8] pour réussir le rapport de transmission 500 : 1.



FIGURE 12 RELATION 100 : 1



FIGURE 13 RELATION 5 : 1

Les avantages de cette option sont :

- Ce n'est pas nécessaire d'attendre à la livraison du produit. L'impression des pièces prend uniquement 13 heures, ce qui nous fait gagner beaucoup de temps.
- Le PLA a une résistance au frottement meilleur que l'ABS donc l'usure est mineure et la vie du produit est plus longue. Ce type de plastique est très utilisé pour les systèmes de transmission imprimées en 3D.
- La modification du système pour le fixer au sol est plus simple.

Cependant, la taille des systèmes d'engrenages planétaires est plus grande que ceux en acier (notamment plus commercialisés).

- **Vis sans fin imprimé en 3D avec l'Objet 24**

En ajoutant une vis sans fin trouvé aussi sur Thingiverse [9] c'est possible d'avoir un rapport de transmission 120 : 1. Cela est plus compact et permet d'ajouter un système d'engrenage 25 : 6 pour réussir, finalement, à avoir le rapport de transmission 500 : 1.

Cependant, dans ce type de mécanismes, la répartition de forces est plus complexe que dans les systèmes d'engrenages parallèles. Étant donné que les arbres sont placés de manière perpendiculaire, les efforts de frottement se disposent en différentes directions. Cela fait que les engrenages souffrent plus et, pourtant, leurs propriétés mécaniques deviennent plus importantes.

Au sein de cette situation, la fabrication des engrenages devient aussi plus importante. Les pièces doivent être plus isotropes et la qualité des pièces obtenues dans l'imprimante Raise 3D N2 n'est pas suffisante. C'est pourquoi, l'option plus intéressante est celle de les imprimer dans l'Objet 24 car l'impression est faite par couches et pas par dépôt de filament.

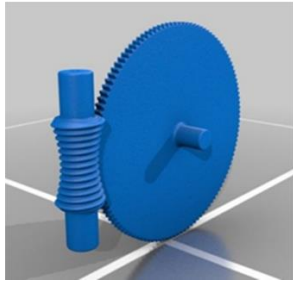


FIGURE 14 RELATION 120 : 1

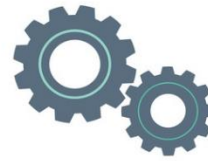


FIGURE 15 RELATION 25 : 6

Ayant fait la simulation du débit de matériau, c'est nécessaire d'utiliser 125 g environ. Cela veut dire que la pièce coûte 50€ et c'est la raison pour laquelle nous ne la considérons pas comme une solution idéale.

- **Commande des composants**

Comme troisième alternative, nous avons cherché des systèmes de réduction commerciaux. Ils ont déjà la réduction 500 : 1 et ils sont beaucoup plus compacts que ceux dont nous avons déjà parlé. Néanmoins, il faut attendre la livraison, ce qui prend du temps en plus des frais de livraison.



IMAGE 24 REDUCTEUR 500 : 1 DE RS COMPONENTS

Afin de faire le choix final, nous montrons un tableau résumé :

Impression 3D PLA	Impression Objet 24	Commande de composants
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût d'impression : 6€</li> <li>• Temps d'impression : 15h</li> <li>• Solution moins compacte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût des pièces : 50€</li> <li>• Temps d'impression : 12h</li> <li>• Solution plus compacte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 semaine de livraison</li> <li>• 24,73 €/pièce</li> <li>• Déjà prêt pour utiliser</li> </ul>

TABEAU 3 COMPARAISON DES SOLUTIONS

- **Solution retenue**

Finalement, nous avons décidé d'imprimer le réducteur planétaire parce que c'est la solution moins chère et la plus rapide à obtenir. De plus, pendant la recherche, nous avons trouvé deux réducteurs très similaires à ceux dont nous avons besoin. Grâce à un réducteur de 100 : 1 et à une autre réduction de 5 : 1 faite avec deux engrenages, nous avons obtenu la réduction cherchée de 500 : 1 pour le tirage.



IMAGE 25 REDUCTEUR 100 : 1



IMAGE 26 REDUCTEUR 5 : 1

#### 5.4. Assemblage final

Par rapport aux axes du système de tirage, nous avons fait nos propres à partir d'une barre en acier. La décision de les fabriquer nous-mêmes a été choisie parce qu'il a eu un problème dans la commande. Initialement, pour ces axes nous avons pris la référence de la taille nécessaire du rapport *open source* [4]. Néanmoins, le diamètre que le rapport spécifique n'est pas le correcte alors que, entre l'option de faire une nouvelle commande ou les faire nous-mêmes, nous avons décidé la deuxième option.

De cette manière nous avons eu les axes le jour après de nous avoir rendu compte de l'erreur et nous avons évité d'acheter une autre barre fileté. Avec une scie de métal et le touret à meuler du FabLab nous les avons coupés en leur donnant la forme spécifique à une barre de diamètre correcte. De plus, nous avons adapté l'extrême d'une des deux afin de pouvoir l'adapter au train d'engrenages qui fait tourner le système.



IMAGE 27 DETAIL ARBRE MODIFIE

Finalement, avec toutes les pièces fabriquées, le résultat final du système de tirage est celui-ci :



IMAGE 28 : ASSEMBLAGE FINAL DU SOUS-SYSTEME DE TIRAGE

## 6. Sous-système de mesure du calibre

Une fois nous avons terminé les deux sous-systèmes fondamentaux qui assurent la qualité du filament, c'est nécessaire d'installer un autre sous-système de vérification qui analyse cette qualité. C'est pourquoi nous avons ajouté à notre système global une équipe de mesure du diamètre. Pour cela, nous nous sommes basés sur la solution donnée par l'article [4], assemblage déjà développé dont nous avons le capteur et le code qui le gère. Le sous-système de mesure est composé par trois parties principales qui forment l'assemblage.

### 6.1. Support

Ce composant est formé par quatre pièces imprimés en 3D avec l'imprimante Raise 3D N2. Ces pièces donnent un support au capteur du calibre et assurent l'alignement du même ainsi qu'une bonne fixation au sol.



IMAGE 29 CORPS DU CAPTEUR



IMAGE 30 PIEDS DU CAPTEUR



IMAGE 31 COUVERCLE DU CAPTEUR

### 6.2. Capteur du calibre

Par rapport au capteur diamètre, nous l'avons commandé sur le site d'internet Objects With Intelligence [10]. Cette option a été retenue car la solution donnée dans l'article [4] était déjà adaptée au capteur ainsi qu'à la carte électronique.

En somme, cela est un système de captation de lumière qui génère un voltage en fonction de la quantité de lumière arrivante au capteur. De cette manière, si un objet s'interpose entre la LED et le capteur, le système analyse la zone ombrée (équivalente au diamètre de l'objet) et donne une lecture de cela. Étant donné que dans notre cas cette lecture est un signal analogique, nous avons connecté la sortie du capteur à un carte Arduino UNO qui nous permet gérer l'information.

Afin d'installer et calibrer correctement le capteur, nous avons suivis les instructions indiquées dans le document de mode d'emploi donné par le fournisseur (Annexe II : Fiches techniques).

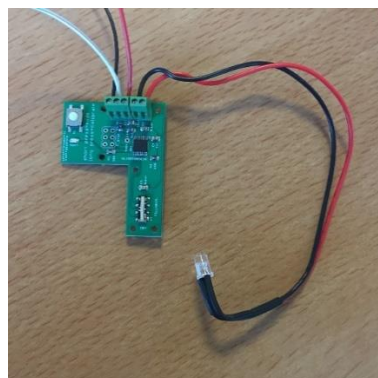


IMAGE 32 CAPTEUR

### 6.3. Système de control

Comme nous avons déjà parlé, nous avons considéré opportun d'ajouter une carte Arduino UNO afin de gérer le capteur. De plus, nous avons connecté un display CEM5461AE pour faire la lecture des données plus simple et intégrée dans le système. En connectant les sorties du capteur +5v et *gnd* aux pins 5V et GND dans la partie POWER d'Arduino, nous alimentons le système. Puis, nous connectons le pin *out* avec l'*ANALOG IN A3* sur Arduino. De cette manière, la lecture du capteur est gérée par le programme *Code\_Filament*, qui permet de montrer la taille du diamètre du filament.

Par rapport au système de visualisation, nous avons pris le circuit proposé par Instructables [11] dont nous pouvons voir ci-dessous :

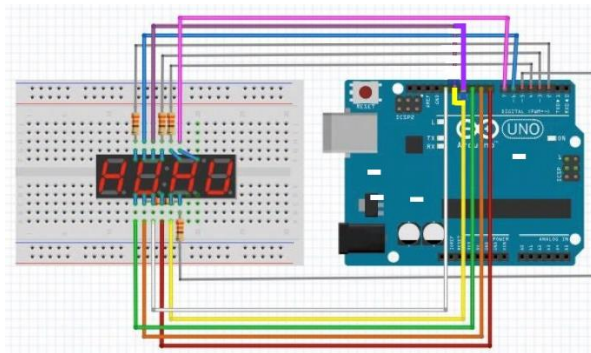


FIGURE 16 CONNEXION DU CEM5461AE

Les composants de ce système sont les suivants :

- 1 x Protoboard Arduino
- 12 x Câbles Arduino
- 1 x Arduino UNO
- 4 x Résistances de 330  $\Omega$
- 1 x Circuit CEM5461AE

Finalement, le système complet est le suivant :

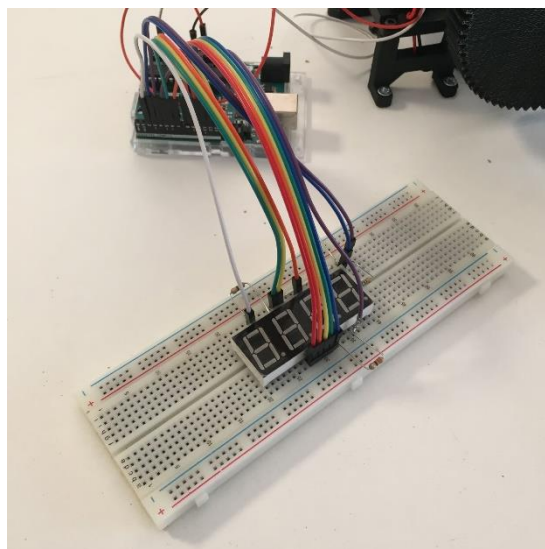


IMAGE 33 ASSEMBLAGE DU SOUS-SYSTEME DE MESURE DU CALIBRE

Grâce à cet assemblage, nous avons réussi à concevoir un système qui permet de connaître le diamètre du filament que nous sommes en train de fabriquer avec une précision considérable. De plus, cela nous permet aussi d'effectuer une surveillance de la qualité du produit, ce que peut être intéressant face à un prochain projet qui aborde cette problématique.

## 7. Sous-système de bobinage

À partir du système de bobinage manuel développé par l'étudiant Erasmus, Miguel Azcoiti, nous allons motoriser le système pour permettre un procès d'extrusion et bobinage continu.

### 7.1. Fabrication

- **Impression 3D**

Avant le démarrage du projet, il y avait quelques pièces déjà imprimés. Ces pièces en PLA, étaient les principales arbres et engrenages du système de bobinage. Concrètement, les pièces fabriquées avant le début du projet étaient celles ci-dessous :

- Came cylindrique
- ISO – Spur Gear 1.75M
- Arbre intermédiaire (1)
- Arbre intermédiaire (2)
- Arbre côté bobineur
- Bobineur arbre engrenages

Néanmoins, ils manquaient quelques pièces à imprimer pour avoir le système complet. Par conséquent, nous avons dû lancer les impressions des pièces ci-dessous :

- Arbre côté guide
- Arbre côté guide rondelle
- Arbre intermédiaire rondelle 5 mm (1)
- Arbre intermédiaire rondelle 5 mm (2)
- Arbre intermédiaire rondelle 20 mm (1)
- Arbre intermédiaire rondelle 20 mm (2)
- Bobineur arbre manivelle

- **Fraisage**

Par rapport aux pièces du système de bobinage en bois, la fabrication s'est faite par fraisage avec le Charly DMC 600. Ces pièces forment le support de toutes les pièces mobiles du bobineur. De plus, pour le fraisage, nous avons utilisé une pièce de bois tendre de 5 mm d'épaisseur (recyclée du FabLab) afin de pouvoir fabriquer tous les composants au minimum délai possible.

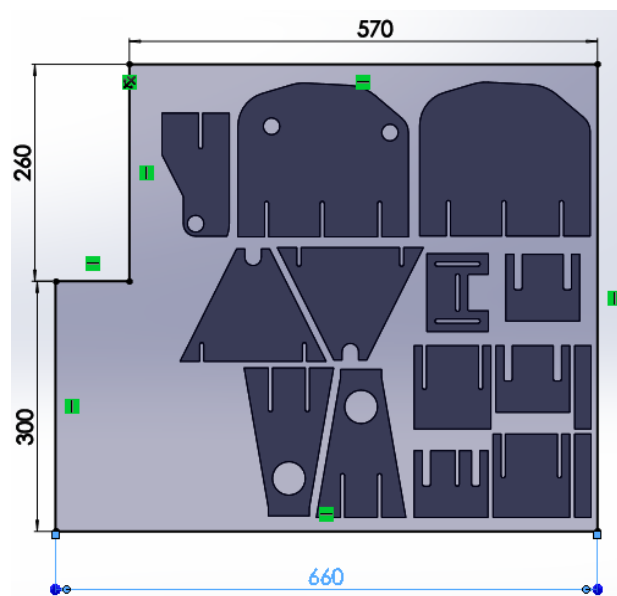


FIGURE 17 PIÈCES EN BOIS

Les pièces fraisées peuvent se diviser en trois sous-systèmes :

- **Système de guidage :**



IMAGE 34 SYSTEME DE GUIDAGE

C'est le premier sous-système du bobineur. Cette partie est chargée de guider le filament déjà extrudé pour le répartir équitablement tout au long de la bobine. Les pièces en bois qui forment ce système sont celles ci-dessous :

- Guidage Rainure
- Guidage Support (1)
- Guidage Support (2)
- Guidage Support Transversal (1)
- Guidage Support Transversal (2)

- **Boitier :**

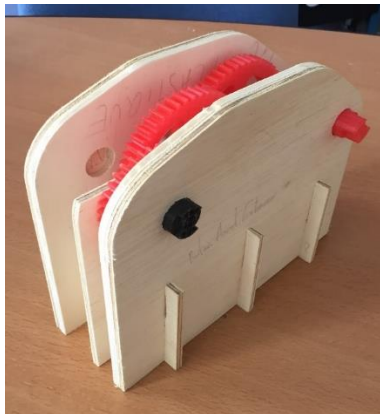


IMAGE 35 BOITIER

Le boîtier est la partie qui supporte tout l'ensemble d'engrenages, arbres et rondelles. Ces composants fixent la relation de transmission entre le système de guidage et le bobineur en assurant une bonne relation de mouvement entre eux. Les pièces en bois qui composent le boîtier sont les suivants :

- Boitier Avant Extérieur
- Boitier Avant Intérieur
- Boitier Intérieur
- Boitier Derrière Intérieur
- Boitier Derrière Extérieur
- Boitier Transversal 3 Trous
- Boitier Transversal 2 Trous (1)
- Boitier Transversal 2 Trous (2)

○ **Bobineur :**

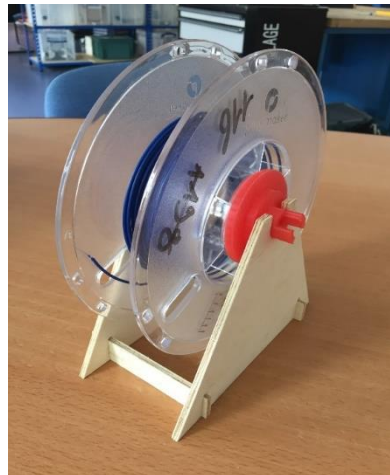


IMAGE 36 BOBINEUR

Dans ce cas, le sous-système est chargé de supporter la bobine ainsi que de la connecter mécaniquement avec le boîtier pour la faire tourner. Les pièces en bois sont celles ci-dessous :

- Bobineur Support (1)
- Bobineur Support (2)
- Bobineur Support Transversal (1)
- Bobineur Support Transversal (2)

De plus, c'était nécessaire de fabriquer l'axe qui joint la bobine et les deux *Bobineur Arbre*. Car nous avions besoin d'un arbre court M5, nous avons décidé de le faire nous-mêmes en recyclant une barre d'acier du FabLab.



IMAGE 37 FABRICATION DE L'ARBRE



IMAGE 38 RESULTAT FINAL DE L'ARBRE

## 7.2. Assemblage et modifications

Une fois les pièces en bois sont fraisées, nous avons fait l'assemblage de toutes les pièces pour vérifier la cohésion mécanique du système. En maintenant le type d'union développé par Miguel Azcoiti, les pièces ont été assemblés avec serrage grâce aux guides de chaque pièce.



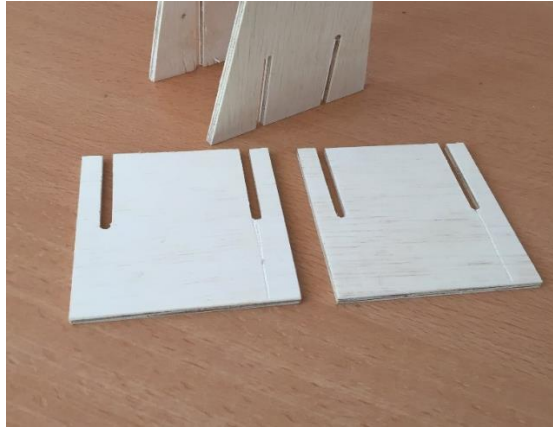


IMAGE 39 GUIDES POUR LES PIÈCES EN BOIS

- **Vérifications et modifications**

Néanmoins, une fois que nous avons eu toutes les pièces fabriquées, des problèmes d'assemblage ont apparus dans notre système. Les principales contraintes ont apparus surtout au niveau du système de guidage. De plus, il a eu aussi des problèmes dans la longueur des arbres des engrenages. Finalement, il était nécessaire d'ajouter un système de traction pour motoriser l'ensemble des composants.

- **Guide**

Initialement, nous devions imprimer la guide pour le filament car elle n'était pas fabriquée. Néanmoins, avant de lancer aucune impression, nous avons réfléchi sur la manière la plus efficace pour concevoir la guide. Le design original de cette pièce était celui ci-dessous :

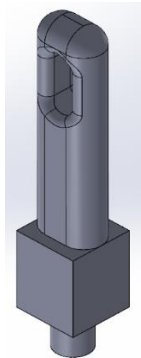


FIGURE 18 GUIDE 1

Cependant, la base (chargée d'équilibrer la guide en annulant les degrés de liberté non souhaités) était trop petite pour effectuer sa mission. C'est pourquoi nous avons décidé de modifier cette pièce afin de la faire plus effective. Alors, nous avons considéré opportun d'augmenter cette surface en vue de la faire plus stable. Ainsi, le nombre de degrés de liberté est limité à un (résultat souhaité).

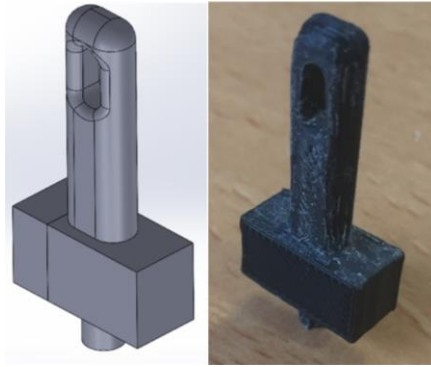


FIGURE 19 GUIDE 2

Nous avons imprimé cette deuxième guide en PLA dans l'imprimante Raise 3D N2. Néanmoins, la qualité de surface obtenue n'a pas été la souhaitée. C'est la raison pour laquelle nous avons réfléchi de comment améliorer cela. L'idée initiale était de limer les surfaces de contact principales afin de les adoucir, mais le résultat n'a pas été satisfaisant car le limage du PLA n'est pas une technique très effective pour adoucir la surface. De plus, la base était toujours très petite pour limiter le mouvement de la guide à un seul degré de liberté.

Alors, nous avons considéré l'option d'imprimer la guide avec l'imprimante Objet 24 afin de diminuer le frottement entre la guide et la came cylindrique car la qualité de surface est considérablement mieux. Également, nous avons décidé d'augmenter encore la base et d'arrondir la face inférieure pour limiter plus le mouvement.

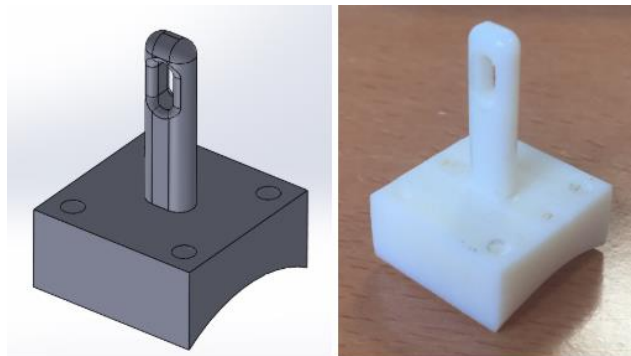


FIGURE 20 GUIDE 3

Finalement, et après toutes les modifications, nous avons retenu cette solution car le mouvement sur la came cylindrique est suffisamment fluide.

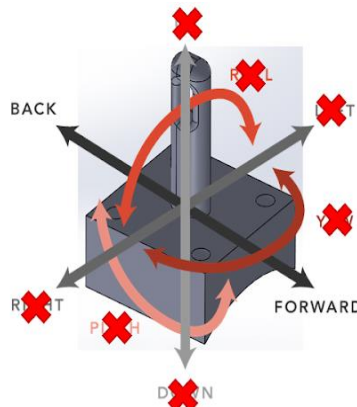


FIGURE 21 LIMITATION DE MOUVEMENT

- **Came cylindrique**

La came cylindrique est la pièce chargée de transformer le mouvement de rotation provenant du train d'engrenages à un mouvement linéaire au niveau de la guide. C'est pour cette raison que la transmission de mouvement doit être vraiment douce pour assurer un bon glissement de la guide.

Tenant en compte que la came était déjà imprimée au démarrage du projet, les problèmes ont apparus une fois nous avons commencé l'assemblage. D'un côté, le diamètre de l'axe était excessivement grand, ce qui provoquait une fixation très serrée. De l'autre côté, la courbe de transition de mouvement (partie de la came qui change le sens de mouvement de la guide) était très brusque. C'est pour cela que nous avons réduit le diamètre de l'axe ainsi qu'adouci la courbe de transition en augmentant le rayon de cela. On peut voir les modifications de la came cylindrique ci-dessous :

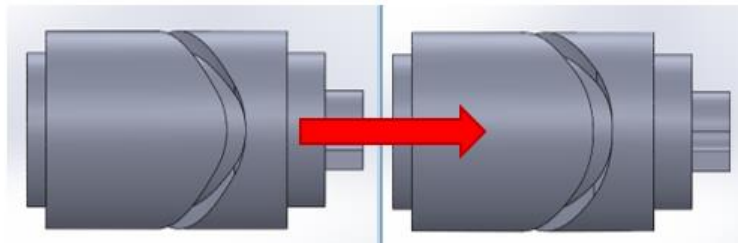


FIGURE 22 MODIFICATIONS DE LA CAME CYLINDRIQUE

Face à la fabrication de cette pièce, nous avons décidé de l'imprimer en ABS car les propriétés mécaniques de ce matériau sont mieux que celles du PLA dans ce cas.

- **Elongation des arbres métalliques**

Encore au sein des problèmes liés à l'assemblage, nous nous sommes rendu compte de ce que les arbres métalliques déjà fabriqués avant le démarrage du projet n'arrivaient pas jusqu'à l'autre côté du boîtier.

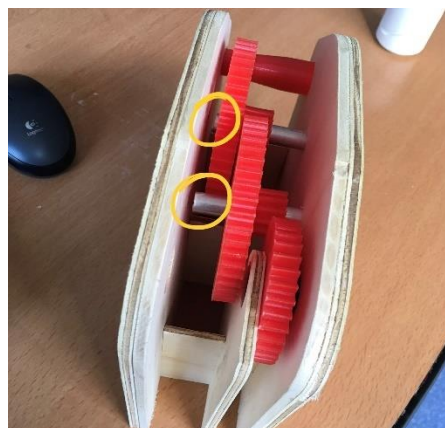


IMAGE 40 ARBRES METALLIQUES

Alors, tenant en compte que si les arbres n'arrivent pas jusqu'à l'autre côté du boîtier les efforts mécaniques peuvent abîmer considérablement les engrenages, nous avons allongé ces arbres pour les faire complètement traversants.

- **Addition d'un moteur au système de bobinage**

Vue que le système de bobinage doit être motorisé afin de faire le processus plus autonome, nous avons décidé d'ajouter un moteur égal à celui que nous avons utilisé dans la partie tirage ainsi que le système de régulation de vitesse PWM.

Pour l'union entre le moteur et les engrenages du bobineur, c'est aussi nécessaire d'avoir un système de transmission mécanique. À différence de la phase de tirage, le rapport n'est pas 500 : 1 mais

plus grand. Comme le rayon de la bobine est plus grand que le rayon des rouleaux de tirage, la vitesse de rotation nécessaire pour obtenir la même vitesse de tirage en mineure (concrètement de 1,21 tpm). C'est pour cette raison qu'il faut trouver une relation entre 1000 : 1 et 2500 : 1 afin de faire travailler le moteur dans sa gamme de travail.

Dans le même site d'internet [12] où nous avons trouvé le système d'engrenages planétaires 500 : 1, nous avons trouvé un autre pareil mais avec un rapport 1379 : 1. Celui nous convient beaucoup plus car nous pouvons faire la connexion entre le moteur et le bobinage de manière directe grâce à ce réducteur. De plus, la vitesse de rotation du moteur est d'environ 1700 tpm, vitesse qui s'adapte bien au rang de vitesses de celui.



FIGURE 23 REDUCTEUR DES ENGRENAGES PLANETAIRES 1379 : 1

Pour faire l'union entre le réducteur et le système de bobinage nous avons modifié l'arbre du côté du bobineur. Dans un côté nous avons fait la forme hexagonale qui permet de lui connecter au réducteur.

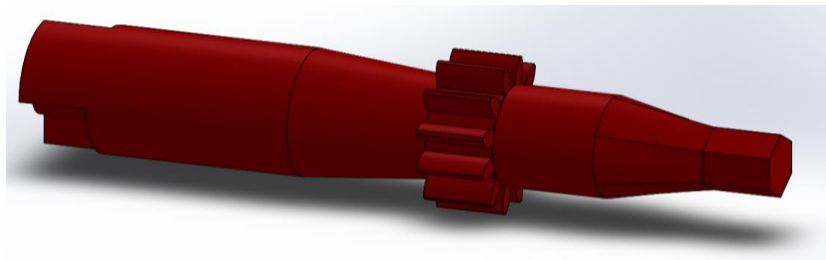


FIGURE 24 MODIFICATION DE L'ARBRE DU COTE DU BOBINEUR

De plus, car il est nécessaire un alignement entre l'arbre du côté bobineur et le réducteur, nous avons dessiné un support qui nous permet de lever le réducteur. Pour cela, nous avons fait avec le Charly Robot les supports en bois et avec l'imprimante 3D les fixations au sol.

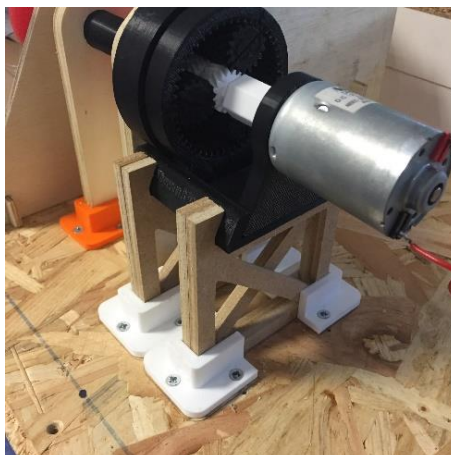


IMAGE 41 FIXATION DU SYSTEME DE TRACTION

- **Assemblage**

Finalement, une fois nous avons eu tous les composants, nous avons fixé le sous-système de bobinage en obtenant ce résultat :

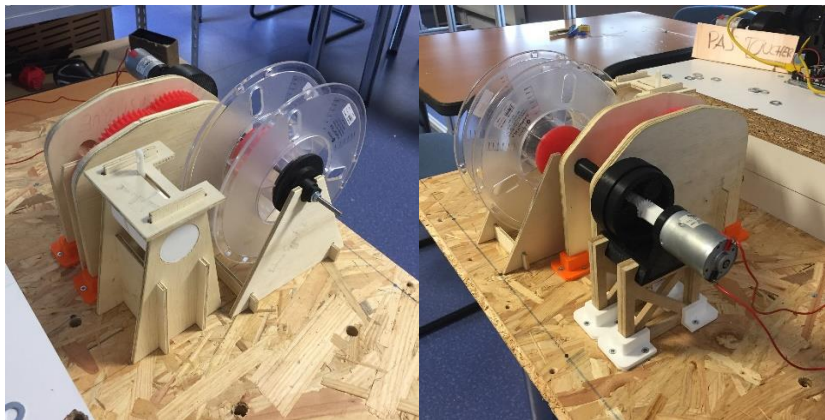


IMAGE 42 ASSEMBLAGE FINAL

## 8. Assemblage du système

Une fois nous avons eu la totalité des sous-systèmes, nous avons commencé l'assemblage de ceux-ci sur la structure qui support le système. Afin d'assurer le bon fonctionnement du prototype, nous avons suivi trois étapes dans le placement de tous les composants du système : alignement, fixation et réalisation de tests.

### 8.1. Alignement

Ce procès est primordial à cause de l'architecture linéaire du procès. C'est pourquoi nous avons fixé, en partant de l'extrudeur, la position de chaque sous-système pour que la trajectoire du filament soit le plus droite possible.

Pour aboutir cela, nous avons mesuré la distance des bords de la structure de support jusqu'à la ligne par laquelle nous voulions faire passer le filament. Ayant dessiné cette ligne sur les pièces en bois, nous avons placé chaque sous-système à sa place et marqué sa position aussi sur le tableau en bois avec une crayon. De cette manière, nous avons fixé de manière approximatif tous les composants.

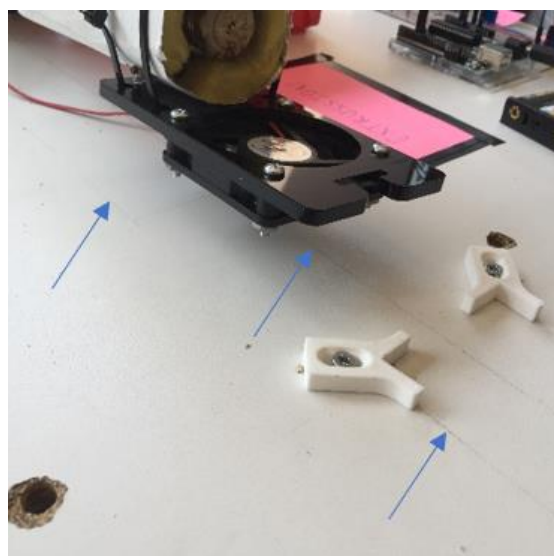


IMAGE 43 MARQUES D'ALIGNEMENT

De plus, afin d'assurer encore la trajectoire linéaire du filament, nous avons conçu trois pièces de guidage que nous avons placé entre les sous-systèmes de refroidissement, tirage et mesure.



IMAGE 44 PIECES DE GUIDAGE

## 8.2. Fixation

Ayant déjà la position de chaque sous-système, nous avons commencé à fixer tous les composants. Pour faire ça, nous avons conçu aussi des pièces de fixation pour les sous-systèmes d'extrusion, refroidissement et bobinage. Ces pièces, imprimées avec l'imprimante Raise 3D N2, évitent que ces composants se bougent quand la machine est en train de fonctionner ainsi qu'elles assurent aussi l'alignement. Par rapport aux autres sous-systèmes, les pièces ont déjà des trous pour les visser au support.

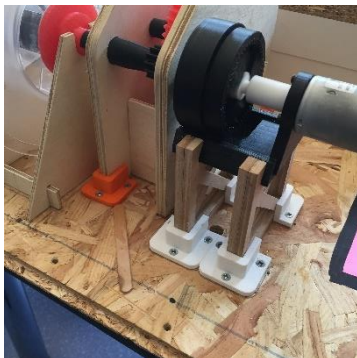


IMAGE 45 SUPPORTS BOBINAGE

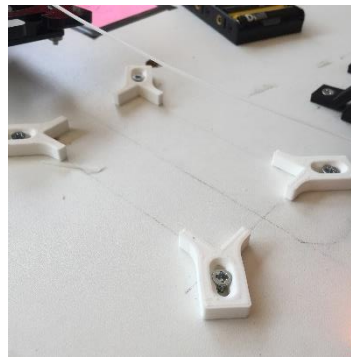


IMAGE 46 SUPPORTS  
REFROIDISSEMENT

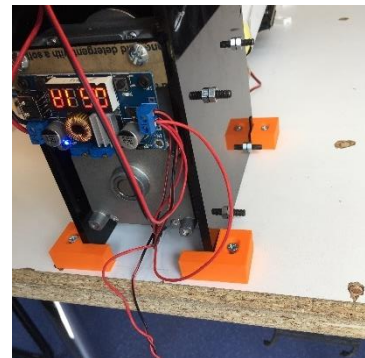


IMAGE 47 SUPPORTS EXTRUDEUR

## 8.3. Réalisation de tests

Finalement, après avoir tout l'assemblage prêt à fonctionner, nous avons décidé d'allumer le système et commencer à fabriquer du filament. Vu que la maturité du système de control de qualité n'est pas complètement développé, nous avons décidé de soumettre à la machine à des tests d'endurance afin de voir quels sont les temps fonctionnement que cela peut atteindre. Chaque test a une durée plus grande que celui d'avant.

De plus, des petites modifications ont été faites pour assurer le correct fonctionnement du système. Il faut tenir en compte aussi que tous ces essais ont été faites sans utiliser le système de refroidissement dont fluide de travail est l'eau. Ci-dessous les résultats de ces tests :

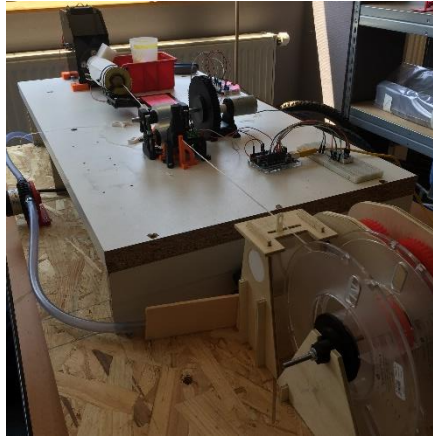


IMAGE 48 MACHINE EN TRAIN DE FONCTIONNER



IMAGE 49 RESULTATS DES ESSAIS

## 9. Conclusion

Ayant réalisé l'assemblage complet du système, nous pouvons conclure que la deuxième phase du projet a été terminée de manière satisfaisante. Nous avons réussi à motoriser le système ainsi qu'à donner les outils nécessaires pour fabriquer un filament de qualité grâce aux sous-systèmes de refroidissement, tirage et mesure. De plus, le fait d'avoir conçu un prototype permet de faire des avancées considérables car la fabrication de filament est possible maintenant.

Face aux prochaines phases de ce projet, ça serait intéressant de se concentrer sur la conception d'une boucle de contrôle qui gère les vitesses de chaque moteur en fonction de la taille du diamètre du filament. Pour cela, une caractérisation plus exhaustive du comportement de la machine devra être faite afin de connaître mieux le système.

Ça serait aussi opportun de mener le système à une deuxième phase de prototypage plus optimisée. Des travaux d'amélioration doivent être faits sur l'étanchéité de la pompe ainsi que dans les systèmes de transmission mécanique. De plus, la conception d'un système de connexion plus robuste serait nécessaire afin de rendre plus fiable la connexion des composants électriques et électroniques.

Personnellement, nous sommes vraiment satisfaits avec le travail que nous avons fait. Non seulement nous avons réussi à motoriser le système en fabriquant un prototype, mais en plus, nous avons réussi à fabriquer du filament avec une qualité pas négligeable. De plus, le fait d'avoir mené un projet jusqu'à la phase de prototypage nous a permis d'acquieser plein de connaissances en matière de fabrication et de prototypage.

## Bibliographie

- [1] «Plastic Extrusion,» [En ligne]. Available: <http://spanish.plasticextrusion-machine.com/sale-10472573-durable-3d-printer-filament-making-machine-pla-filament-for-3d-printer.html>. [Accès le Mai 2019].
- [2] Filastruder, « Filastruder,» [En ligne]. Available: <https://www.filastruder.com/collections/filastruders-accessories/products/filawinder>. [Accès le Mai 2019].
- [3] J. McCaslin et A. Woern, «Appropedia,» Mai 2018. [En ligne]. Available: [https://www.appropedia.org/Recyclebot\\_v5.0](https://www.appropedia.org/Recyclebot_v5.0). [Accès le may 2019].
- [4] J. R. McCaslin, A. M. Pringle et A. L. Woern, «www.elsevier.com/locate/ohx,» 3 may 2018. [En ligne]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067218300208>. [Accès le Mai 2019].
- [5] hoanhkhoa0103, «Thingiverse,» 15 decembre 2018. [En ligne]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:3286378>. [Accès le Mai 2019].
- [6] G. D. F. What, «Thingiverse,» 17 Août 2017. [En ligne]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:2220506>. [Accès le Mai 2019].
- [7] KHK-USA, «KHK Gears,» 2019. [En ligne]. Available: <https://www.khkgears.us/catalog/product/PS1.5-15>. [Accès le Mai 2019].
- [8] KHK-USA, «KHK Gears,» 2019. [En ligne]. Available: <https://www.khkgears.us/catalog/product/PS1.5-75>. [Accès le Mai 2019].
- [9] Pauljs75, «Thingiverse,» 12 Août 2017. [En ligne]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:2480647>. [Accès le Juin 2019].
- [10] Objets with Intelligence, LLC, «Objets with Intelligence, LLC,» [En ligne]. Available: <http://objectswithintelligence.weebly.com/store.html>. [Accès le Mai 2019].
- [11] Chickeneater, «Instructables,» [En ligne]. Available: <https://www.instructables.com/id/Using-a-4-digit-7-segment-display-with-arduino/>.
- [12] G. D. F. What, «Thingiverse,» 2 Avril 2017. [En ligne]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:2220506>. [Accès le Mai 2019].



## Annexes

- [Annexe I](#) : Fiches techniques
  - Instructions for Filament Sensor board
  - Isc N-Channel MOSFET transistor
  - DC brush motor : DMN37 Motor
  - « Square trimpot » trimming potentiometer
  - Arduino UNO
- [Annexe II](#) : TO DO LIST
- [Annexe III](#) : Mode d'emploi



isc N-Channel MOSFET Transistor

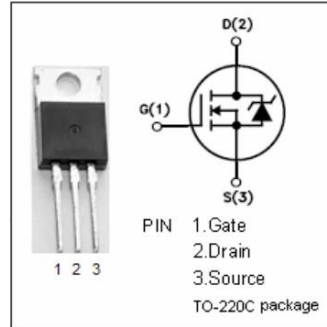
IRFZ44N

FEATURES

- Drain Current  $-I_D=49A@ T_C=25^\circ C$
- Drain Source Voltage-  
:  $V_{DSS}= 55V(\text{Min})$
- Static Drain-Source On-Resistance  
:  $R_{DS(on)} = 0.032 \Omega (\text{Max})$
- Fast Switching

DESCRIPTION

- Designed for low voltage, high speed switching applications in power supplies, converters and power motor controls, these devices are particularly well suited for bridge circuits where diode speed and commutating safe operating areas are critical and offer additional safety margin against unexpected voltage transients.

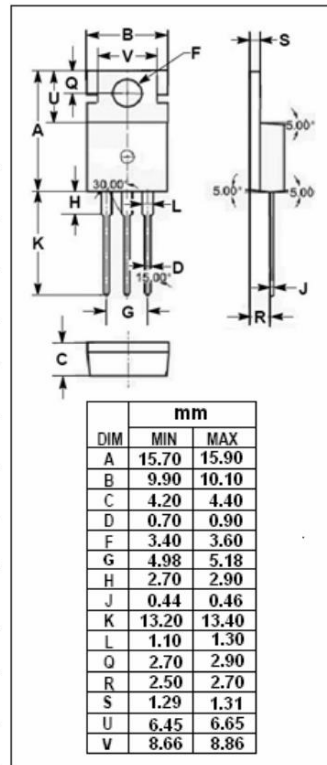


ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS( $T_a=25^\circ C$ )

SYMBOL	PARAMETER	VALUE	UNIT
$V_{DSS}$	Drain-Source Voltage	55	V
$V_{GS}$	Gate-Source Voltage-Continuous	$\pm 20$	V
$I_D$	Drain Current-Continuous	49	A
$I_{DM}$	Drain Current-Single Pluse ( $t_p \leq 10 \mu s$ )	160	A
$P_D$	Total Dissipation @ $T_C=25^\circ C$	94	W
$T_J$	Max. Operating Junction Temperature	175	$^\circ C$
$T_{stg}$	Storage Temperature	-55~175	$^\circ C$

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	MAX	UNIT
$R_{th j-c}$	Thermal Resistance, Junction to Case	1.5	$^\circ C/W$
$R_{th j-a}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	62	$^\circ C/W$



**isc N-Channel MOSFET Transistor****IRFZ44N****ELECTRICAL CHARACTERISTICS****T<sub>c</sub>=25°C unless otherwise specified**

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	MAX	UNIT
V <sub>(BR)DSS</sub>	Drain-Source Breakdown Voltage	V <sub>GS</sub> = 0; I <sub>D</sub> = 0.25mA	55		V
V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> ; I <sub>D</sub> = 0.25mA	2	4	V
R <sub>DS(on)</sub>	Drain-Source On-Resistance	V <sub>GS</sub> = 10V; I <sub>D</sub> = 25A		0.032	Ω
I <sub>GSS</sub>	Gate-Body Leakage Current	V <sub>GS</sub> = ±20V; V <sub>DS</sub> = 0		±100	nA
I <sub>DSS</sub>	Zero Gate Voltage Drain Current	V <sub>DS</sub> = 55V; V <sub>GS</sub> = 0 V <sub>DS</sub> = 55V; V <sub>GS</sub> = 0; T <sub>J</sub> = 150°C		25 250	μA
V <sub>SD</sub>	Forward On-Voltage	I <sub>S</sub> = 25A; V <sub>GS</sub> = 0		1.3	V

# DC Brush Motors

# DMN37 Motor

## DMN37 Series

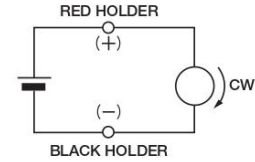


### Specification

TYPE	RATED				NO LOAD				STALL		WEIGHT	
	OUT PUT	VOLTAGE	TORQUE	CURRENT	SPEED	CURRENT	SPEED	TORQUE				
	W	V	mN·m	oz·in	A	r/min	A	r/min	mN·m	oz·in	g	lb
DMN37SA	4.6	12	9.8	1.39	0.78	4500	0.26	5500	54	7.64	130	0.29
DMN37SB	4.6	24	9.8	1.39	0.37	4500	0.12	5500	54	7.64	130	0.29
DMN37BA	7.2	12	14.7	2.09	1.01	4700	0.25	5500	98	13.89	180	0.40
DMN37BB	7.2	24	14.7	2.09	0.53	4700	0.13	5500	98	13.89	180	0.40
DMN37KA	9.2	12	24.5	3.48	1.20	3600	0.27	4300	160	23.61	210	0.46
DMN37KB	9.2	24	24.5	3.48	0.60	3600	0.14	4300	160	23.61	210	0.46
DMN37JB	14.7	24	39.2	5.56	0.94	3600	0.16	4300	240	24.72	240	0.53

※Intermittent ratings are given for DMN37JB, (DUTY50%)

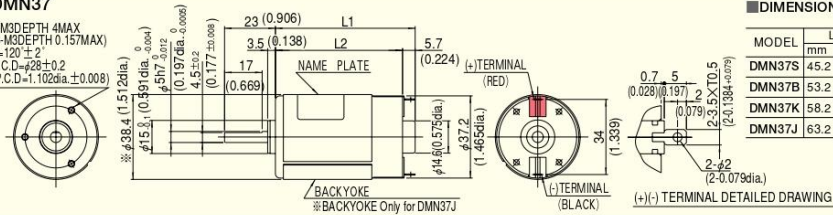
### Connection



### Outline

#### DMN37

3-M3DEPTH-4MAX  
(3-M3DEPTH 0.157MAX)  
P=120±2  
P.C.D.φ28±0.2  
(P.C.D=1.102dia±0.008)

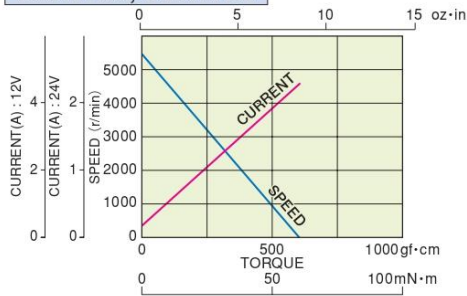


#### ■ DIMENSIONS Unit mm(inch)

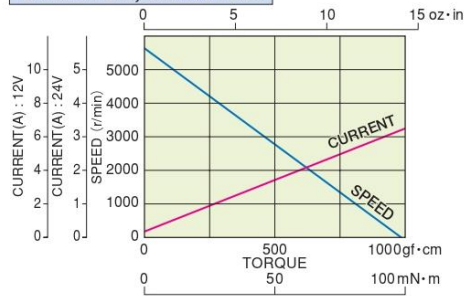
MODEL	L1		L2	
	mm	inch	mm	inch
DMN37S	45.2	1.780	39.5	1.555
DMN37B	53.2	2.094	47.5	1.870
DMN37K	58.2	2.291	52.5	2.067
DMN37J	63.2	2.488	57.5	2.264

### CURRENT, SPEED-TORQUE CURVE

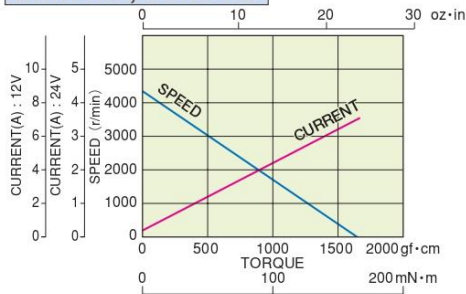
#### DMN37SA, DMN37SB



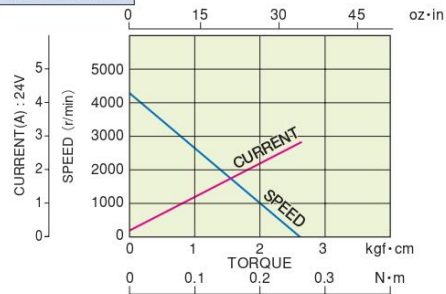
#### DMN37BA, DMN37BB

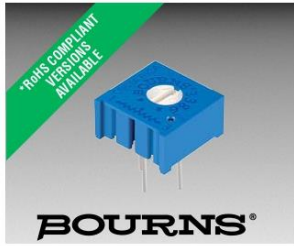


#### DMN37KA, DMN37KB



#### DMN37JB





## Features

- Single Turn / Cermet / Industrial / Sealed
- Available on tape and reel
- Available with a knob for finger adjust
- Available with extended shaft
- Available with cross-slot rotor
- Top and side adjust types (F, P, H, W, X most popular)

- RoHS compliant\* version available
- For trimmer applications/processing guidelines, [click here](#)

## 3386 - 3/8" Square Trimpot® Trimming Potentiometer

### Electrical Characteristics

Standard Resistance Range ..... 10 ohms to 2 megohms  
(see standard resistance table)  
Resistance Tolerance ..... ±10 % std.  
(tighter tolerance available)  
Absolute Minimum Resistance ..... 2 ohms max.  
Contact Resistance Variation ..... 2 % or 3 ohms max.  
(whichever is greater)  
Adjustability  
Voltage Divider ..... ±0.05 %  
Rheostat ..... ±0.15 %  
Resolution ..... Infinite  
Insulation Resistance ..... 500 vdc,  
1,000 megohms min.  
Dielectric Strength  
Sea Level ..... 900 vac  
70,000 Feet ..... 350 vac  
Adjustment Angle ..... 280 ° nom.

### Environmental Characteristics

Power Rating (300 volts max.)  
85 °C ..... 0.5 watt  
125 °C ..... 0 watt  
Temperature Range ... -55 °C to +125 °C  
Temperature Coefficient ... ±100 ppm/°C  
Seal Test ..... 85 °C Fluorinert†  
Humidity ..... MIL-STD-202 Method 103  
96 hours  
(2 % ΔTR, 10 Megohms min.)  
Vibration ..... 30 G (1 % ΔTR; 1 % ΔVR)  
Shock ..... 100 G (1 % ΔTR; 1 % ΔVR)  
Load Life.. 1,000 hours 0.5 watt @ 70 °C  
(3 % ΔTR; 3 % or 3 ohms,  
whichever is greater, CRV)  
Rotational Life ..... 200 cycles  
(4 % ΔTR; 3 % or 3 ohms,  
whichever is greater, CRV)

### Physical Characteristics

Mechanical Angle ..... 310 ° nom.  
Torque ..... 5.0 oz-in. max.  
Stop Strength ..... 15.0 oz-in. min.  
Terminals ..... Solderable pins  
Weight ..... 0.03 oz.  
Marking ..... Manufacturer's  
trademark, resistance code,  
wiring diagram, date code,  
manufacturer's model  
number and style  
Flammability ..... U.L. 94V-0  
Standard Packaging ..... 50 pcs. per tube  
Wiper ..... 50 % (Actual TR) ±10 %  
Adjustment Tool ..... H-90

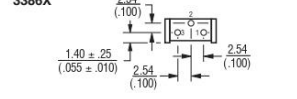
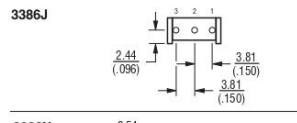
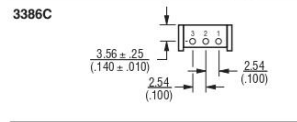
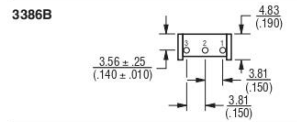
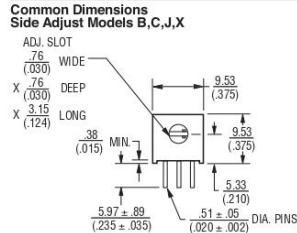
\*RoHS Directive 2002/95/EC Jan. 27, 2003 including annex and RoHS Recast 2011/65/EU June 8, 2011.

† Fluorinert™ is a registered trademark of 3M Co.

Specifications are subject to change without notice.

The device characteristics and parameters in this data sheet can and do vary in different applications and actual device performance may vary over time. Users should verify actual device performance in their specific applications.

### Product Dimensions

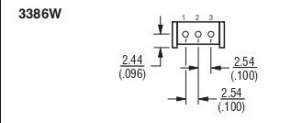
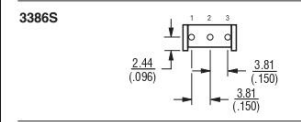
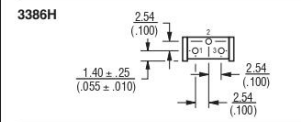
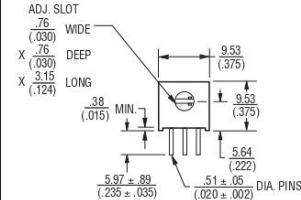


### Standard Resistance Table

Resistance (Ohms)	Resistance Code
10	100
20	200
50	500
100	101
200	201
500	501
1,000	102
2,000	202
5,000	502
10,000	103
20,000	203
25,000	253
50,000	503
100,000	104
200,000	204
250,000	254
500,000	504
1,000,000	105
2,000,000	205

Popular distribution resistance values listed in boldface. Special resistances available.

### Common Dimensions Side Adjust Models H,S,W



DIMENSIONS: MM (INCHES)

TOLERANCES: ± .025 (0.010) EXCEPT WHERE NOTED

### How To Order

**3386 P - 1 - 103 T LF**

Model \_\_\_\_\_  
Style \_\_\_\_\_  
Standard or Modified Product Indicator \_\_\_\_\_  
-1 = Standard Product  
-EYS = Extended Shaft  
Resistance Code \_\_\_\_\_  
Optional Suffix Letter \_\_\_\_\_  
T = Knob\*\*  
Packaging Designator \_\_\_\_\_  
Blank = Tube (Standard)  
R = Tape & Reel (W and U Pin Styles Only)  
A = Ammo Pack (W and U Pin Styles Only)

Terminations \_\_\_\_\_  
LF = 100 % Tin-plated (RoHS compliant)  
Blank = 90 % Tin / 10 % Lead-plated (Standard)

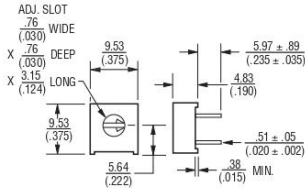
\*\*Knob option is available only in standard tube packaging. Not recommended for side load applications. Consult factory for other available options.

# 3386 - 3/8" Square Trimpot® Trimming Potentiometer

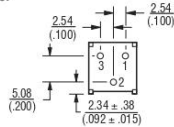
# BOURNS®

## Product Dimensions

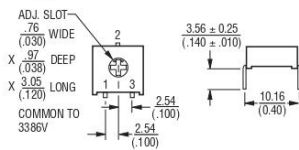
### Common Dimensions Top Adjust Models F,G,K,P,R,U,V,Y



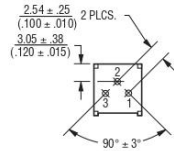
### 3386F



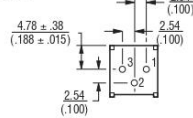
### 3386G



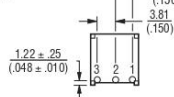
### 3386K



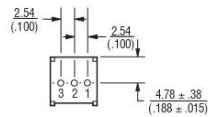
### 3386P



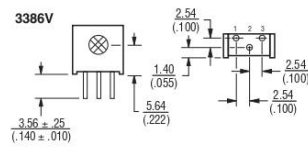
### 3386R



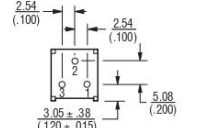
### 3386U



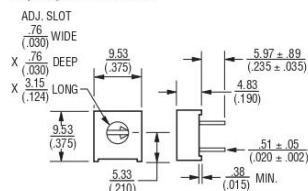
### 3386V



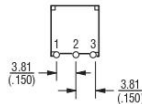
### 3386Y



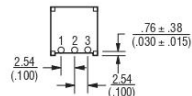
### Common Dimensions Top Adjust Models M,T



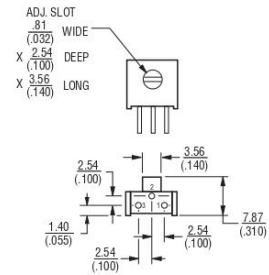
### 3386M



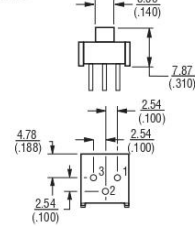
### 3386T



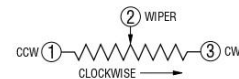
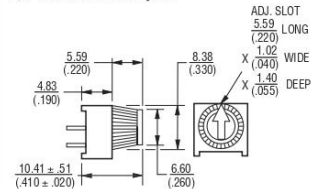
### 3386H-EY5 3386X-EY5 - SHOWN



### 3386P-EY5



The Model 3386 is available with a knob for finger adjustment. Add suffix letter "T" to order code for F, P and X terminal styles.



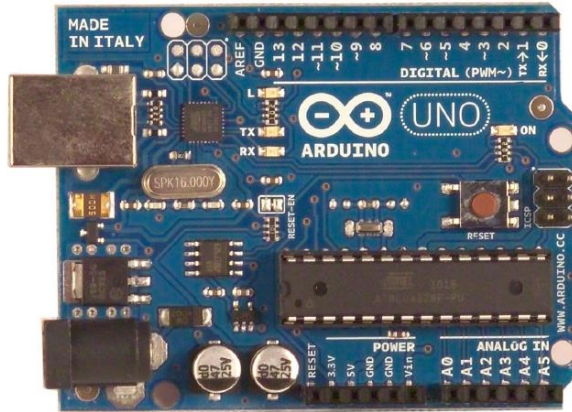
DIMENSIONS: MM (INCHES)  
 TOLERANCES:  $\pm 0.25$  (0.010) EXCEPT WHERE NOTED

Specifications are subject to change without notice. The device characteristics and parameters in this data sheet can and do vary in different applications and actual device performance may vary over time. Users should verify actual device performance in their specific applications.





# Arduino UNO



## Product Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

## Index

Technical Specifications

Page 2

How to use Arduino  
Programming Environment, Basic Tutorials

Page 6

Terms & Conditions

Page 7

Environmental Policies  
half sqm of green via Impatto Zero®

Page 7



*radiospares* **RADIONICS**



# Technical Specification

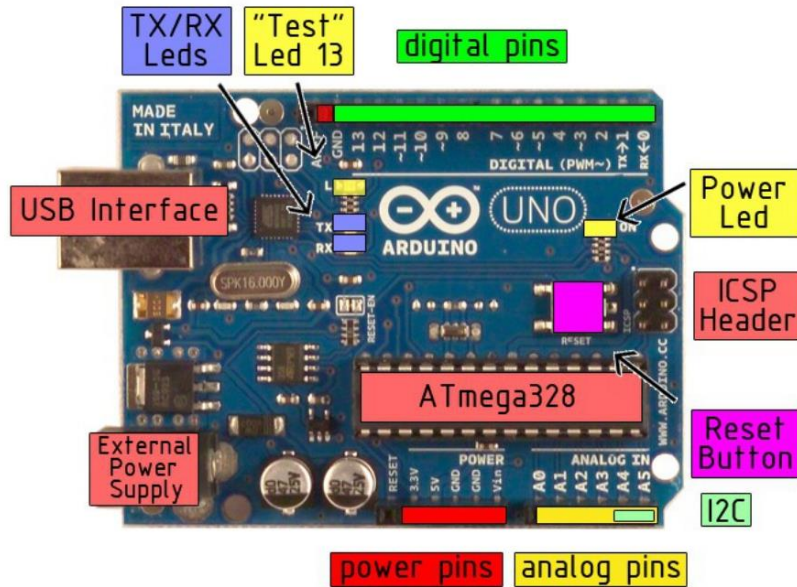


EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

## Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

## the board



radiospares RADIONICS



## Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0,5 KB is used for the bootloader); It has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip .
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.



*radiospares*

**RADIONICS**



The Uno has 6 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I<sup>2</sup>C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I<sup>2</sup>C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and Atmega328 ports](#).

## Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, an \*.inf file is required..

The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also support I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega328 datasheet.

## Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available . The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader).



**radiospares RADIONICS**



## Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

## USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

## Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.



*radiospares*

**RADIONICS**



ALLIED ELECTRONICS  
ALLIED ELECTRONICS COMPANY

# How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

## Linux Install

## Windows Install

## Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

## Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>  
Arduino-0017>Examples>  
Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.

```
blink | Arduino 0017
File Edit Sketch Tools Help
Blink $
int ledPin = 13; // LED connected to digital pin 13
// The setup() method runs once, when the sketch starts
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power.
void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW); // set the LED off
  delay(1000); // wait for a second
}
```

Press Compile button (to check for errors) Done compiling. Upload TX RX Flashing Blinking Led!

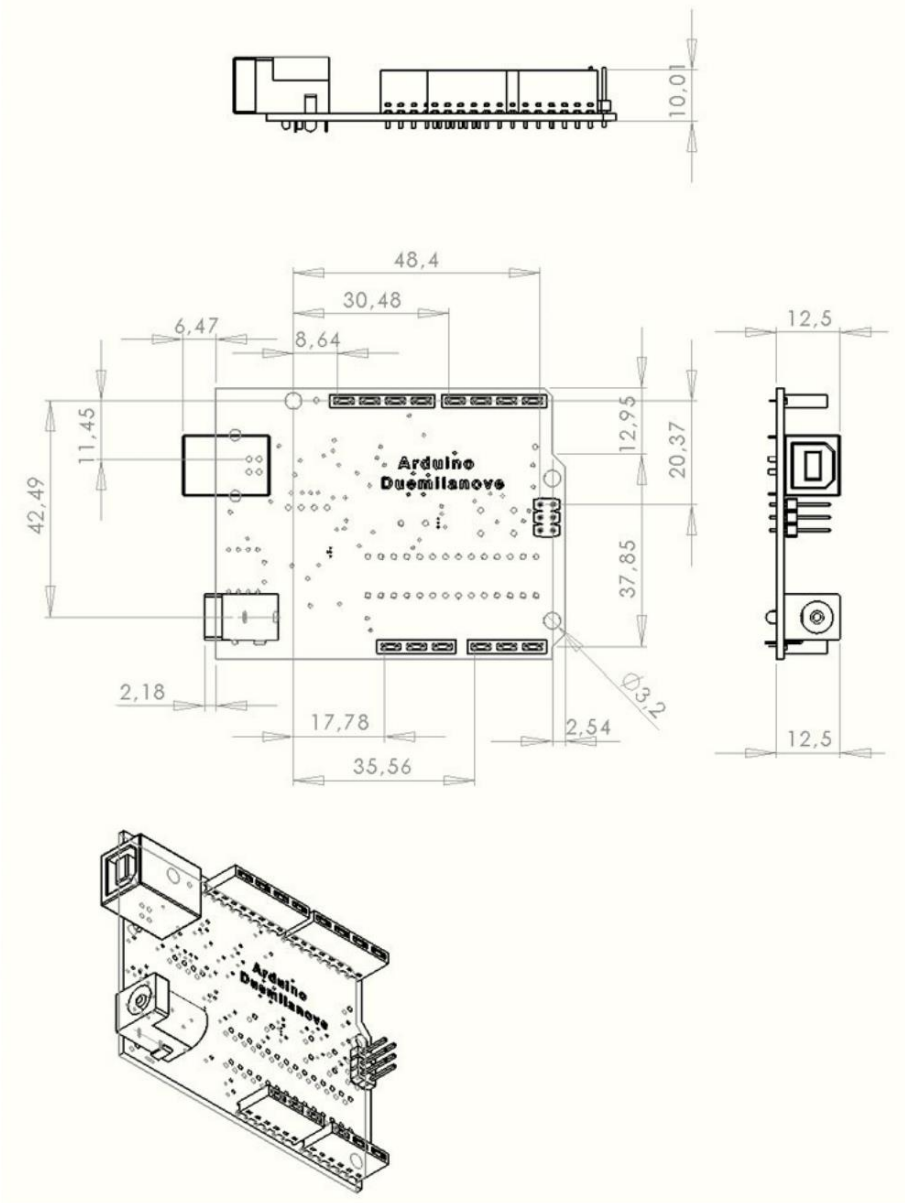


radiospares

RADIONICS



Dimensioned Drawing



*radiospares* **RADIONICS**



# Terms & Conditions



## 1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino | products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino | products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino | products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino | products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

## 2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

## 3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

## 4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



## Environmental Policies



The producer of Arduino | has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.



*radiospares*

*RADIONICS*





## Annexe II : TO DO LIST

TO DO LIST									
	NOM DE LA TÂCHE	ÉTAT	RESPONSABLE	COMMENTAIRE	Date prévisionnelle	Date de commencement	Date de finition		
Veille et réparation	Analyse de documents	Terminé	Tous	Analyse de la documentation (documents donnés par M. Saintis, rapport de Miguel et documentation de Filastruder)	2019-05-10	2019-05-09	2019-05-14		
	Étude de veille	Terminé	Tous	Automatisation électrique Optimisation mécanique	2019-05-20	2019-05-09	2019-05-14		
	Reparation extrudeur	Terminé	Tous	Chercher, comander et assembler	2019-05-20	2019-05-10	2019-05-14		
Conception									
Subdivisions des taches de coception									
Extrusion	Réparation de roulement et rondelle	Terminé	Rubén		2019-05-30	2019-06-06	2019-06-07		
	Assemblage de Filastruder	Terminé	Rubén		2019-06-03	2019-06-07	2019-06-10		
	Fixation au sol	Terminé	Jon		2019-06-12	2019-06-17	2019-06-19		
	Redaction sous-rapport extrusion	Terminé	Rubén		2019-06-14	2019-06-11	2019-06-18		
Refroidissement	Dessin en CAO	Terminé	Jon	Design de la douche, le capteur et le boitier de fixation	2019-05-22	2019-05-17	2019-05-20		
	Planification des besoins	Terminé	Tous	De pompe et des tubes	2019-05-15	2019-05-15	2019-05-15		
	Fabrication des élément dessinés dans le CAO	Terminé	Jon	Avec l'impression 3D	2019-05-27	2019-05-17	2019-05-21		
	Assemblage	Terminé	Jon	Assemblage des pièces en 3D avec le système de pompage	2019-05-07	2019-05-22	2019-06-20		
	Redaction sous-rapport refroidissement	Terminé	Rubén	En parallele avec fabrication	2019-06-14	2019-05-27	2019-06-20		
Système de mesure du filament	Planification des besoins	Terminé	Tous	Capteur optique, display et Arduino (Nano?)	2019-05-15	2019-05-15	2019-05-15		
	Fabrication des élément dessinés dans le CAO	Terminé	Tous	Avec l'impression 3D	2019-05-27	2019-05-17	2019-05-21		
	Assemblage	Terminé	Jon		2019-06-05	0219-06-10	0219-06-10		
	Programation de l'électronique	Terminé	Tous		2019-06-06	2019-06-17	2019-06-12		
	Calibrage	Terminé	Jon	Assurer que la lecture des mesures sont correctes	2019-06-07	2019-06-11	2019-06-11		
	Redaction sous-rapport calibrage	Terminé	Jon		2019-06-14	2019-06-13	2019-06-20		
Tirage	Planification des besoins	Terminé	Tous	Arduino Uno, roulements, rondelles, vis, moteur, silicone?	2019-05-15	2019-05-15	2019-05-15		
	Fabrication des pièces non comandés	Terminé	Rubén	Impression 3D	2019-05-27	2019-05-17	2019-05-22		
	Fabrication moule rouleau	Terminé	Rubén	Impression 3D	2019-05-23	2019-05-21	2019-06-05		
	Assamblage	Terminé	Tous		2019-05-17	2019-05-06	2019-05-08		
	Programation de l'électronique	Terminé	Jon	Assurer que fonctionent du système électronique	2019-05-27	2019-05-17	2019-05-20		
	Fixation au sol	Terminé	Jon		2019-06-07	2019-06-17	2019-06-19		
	Dessin de la reductrice	Terminé	Rubén		2019-05-31	2019-05-28	2019-05-31		
	Redaction sous-rapport tirage	Terminé	Tous		2019-06-14	2019-05-28	2019-06-18		
Bobinage	Modification assamblage Miguel pour ajouter un moteur	Terminé	Rubén		2019-06-03	2019-05-27	2019-06-16		
	Planification des besoins	Terminé	Tous	Roulements, vis, rondelles...	2019-05-15	2019-05-15	2019-05-15		
	Fabrication des éléments	Terminé	Tous	CNC et 3D	2019-06-07	2019-05-21	2019-06-03		
	Assamblage des éléments et fixation au sol	Terminé	Rubén		2019-06-07	2019-06-17	2019-06-19		
	Programation de l'électronique	Terminé	Jon		2019-06-06	2019-05-20	2019-05-17		
	Redaction sous-rapport Bobinage	Terminé	Jon	En parallele avec fabrication	2019-06-12	2019-05-17	2019-06-17		
Bilan									
	Bilan Pre-prototypage	Terminé	Rubén		2019-06-05	2019-05-15	2019-05-16		
Prototypage									
	Comande de composants	Terminé	Tous		2019-06-07	2019-05-17	2019-04-16		
	Fabrication de composants	Terminé	Tous	En parallele avec rédaction	2019-06-12	2019-05-10	2019-06-20		
	Assemblage	Terminé	Tous	25/06/2019	2019-06-12	2019-06-24	2019-06-20		
	Tests	En cours	Tous	25/06/2019	2019-06-14	2019-06-19	2019-06-28		
	Corrections	En cours	Tous	En parelle avec assemblageet tests	2019-06-14	2019-06-19	2019-06-28		
Rédaction du rapport et péparation de soutenance									
	Rédaction du rapport	Terminé	Tous		2019-06-21	2019-06-10	2019-06-26		
	Prepation de soutenance	Non commencé	Tous		2019-06-28	2019-06-21	2019-06-28		

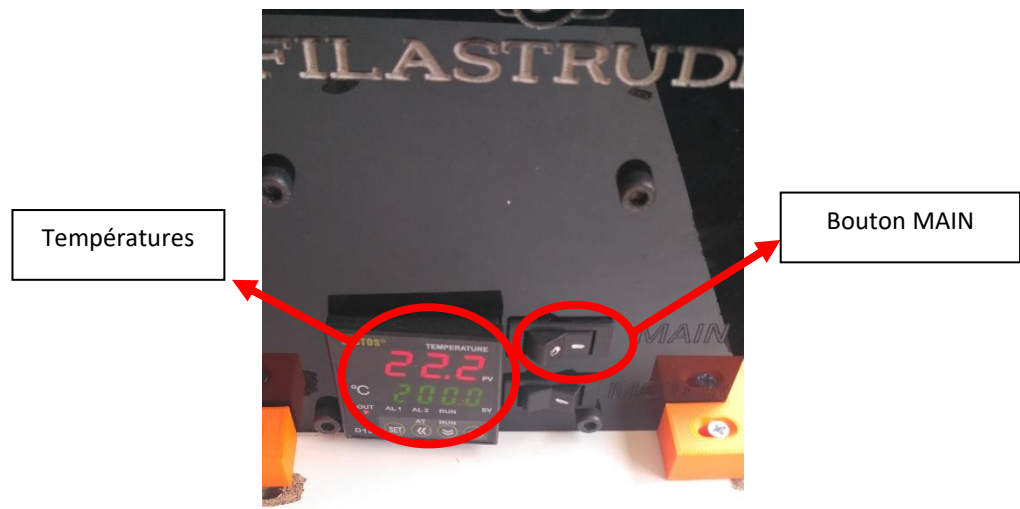
## Annexe III: Mode d'emploi

### MODE D'EMPLOI

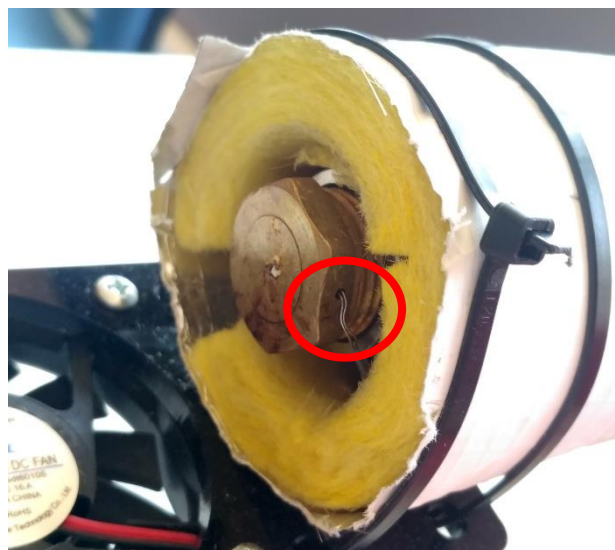
#### FABRICATION DU FILAMENT POUR IMPRESION 3D

Note : Ce Mode d'emploi est formulé seulement pour utiliser la machine sans le système de refroidissement d'eau.

1. Allumer l'extrudeur.
  - a. Connecter la machine au réseau électrique.
  - b. Pousser le bouton MAIN pour allumer la machine et qu'elle commence à se chauffer. La température verte est la température établie et le rouge la température actuelle de la sortie.

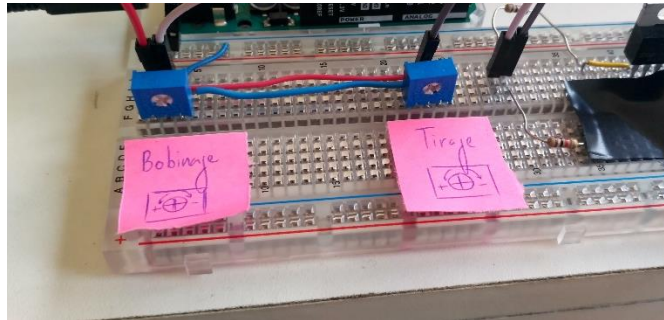


Faire attention au thermocouple. Il doit être à l'intérieur d'un trou comme nous pouvons voir ci-dessous :

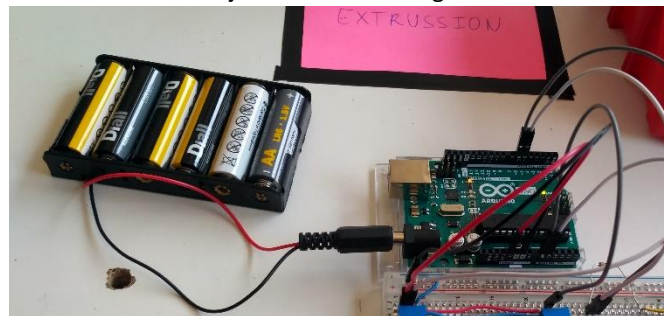


2. Allumer les systèmes Arduino

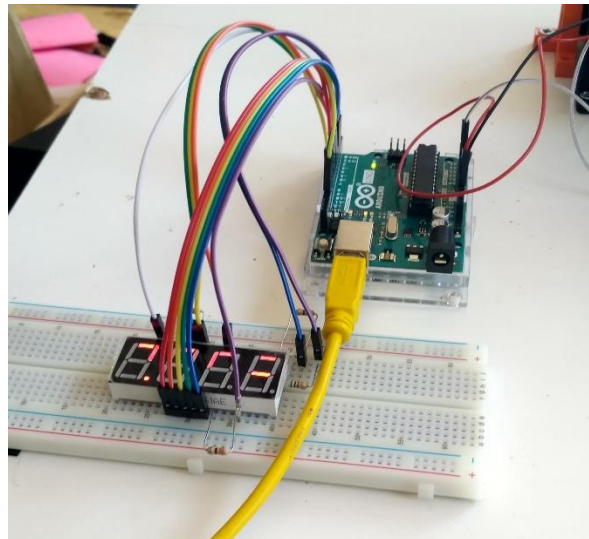
- a. Vérifier que les deux potentiomètres sont dans la position zéro : tourner dans le sens horaire jusqu'à ils s'arrêtent.



- b. Connecter la source d'alimentation au réseau électrique.  
c. Connecter la batterie à l'Arduino juste à côté du tirage.



- d. Connecter l'Arduino de mesure à l'ordinateur (au cas où une sortie de données soit souhaitée, sinon, connecter l'Arduino à une source d'alimentation comme celle de l'indication antérieure).

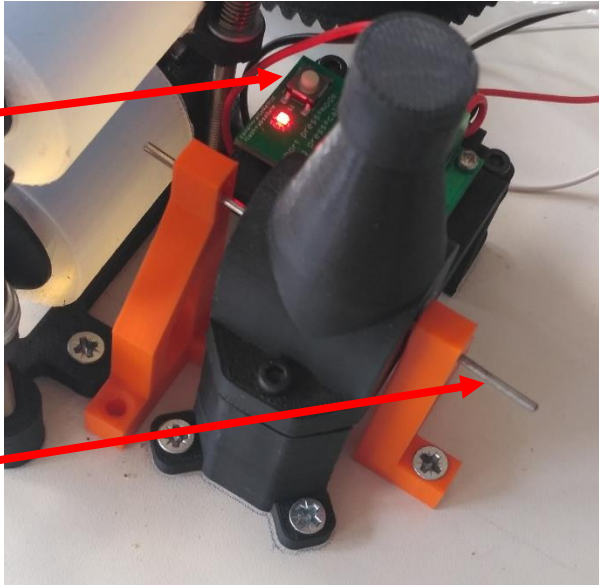


- e. Calibrer le capteur avec la barre de calibration.  
i. Prend la barre de mesure (gardé sous le capteur).  
ii. Mètre la barre à l'intérieur du capteur.  
iii. Pousser pendant 3 secondes le bouton du capteur.  
iv. Assurer que la lecture est 1.53XX.

Note : Les instructions de calibrage sont aussi dans la fiche technique de la machine.

Bouton de calibration

Barre de calibration



3. Vérifier qu'il y a de matériau dans le réservoir de l'extrudeur.



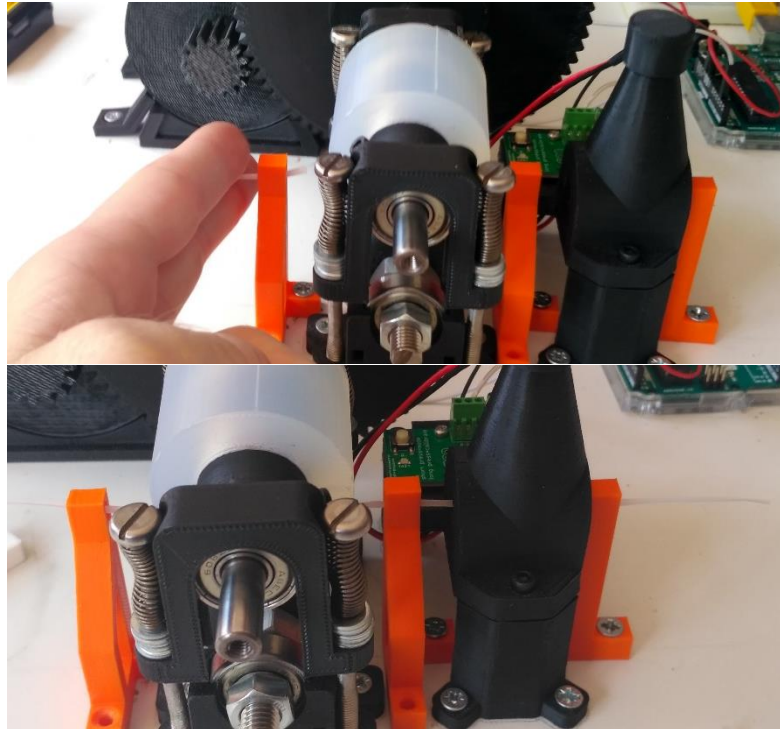
4. Allumer le moteur de l'extrudeur : Quand la température supérieure à 180°C, la machine est prête pour commencer l'extrusion. Pousse le bouton MOTEUR pour commencer à boucher la vis sans fin. Le filament commencera à sortir de la machine.



5. Allumer les moteurs des sous-systèmes de tirage et bobinage à une puissance mineur que la maximale avec les potentiomètres.

6. Placement du filament.

- a. Guider le filament qui sors de l'extrudeur par les différents sous-systèmes et les pièces de guidage (pièces en orange).



7. Attendre jusqu'au moment où le filament commence à avoir un diamètre homogène. À ce moment, nous pouvons commencer à bobiner.
8. Introduire dans la guide du bobineur le filament et après fixer le filament à la bobine.



9. Ajuster la vitesse des moteurs avec les potentiomètres pour avoir un filament avec la taille désirée.