



France
Living Labs



Membre de
Francophonie
Living Labs



FAB *Living* **LAB**

CESI
ei.cesi
ÉCOLE D'INGÉNIEURS

Initiation à la Recherche : Présentation du prototype mis au point

Comment automatiser et garantir une fiabilité du processus d'extrusion de granules de PLA recyclés ?

Eudes Le Maistre
Mars 2018

Introduction

Aujourd'hui, l'impression 3D se démocratise et prend une part importante dans la nouvelle forme de production. Basée sur la fabrication additive (fines couches déposées une à une), les imprimantes 3D permettent d'avoir des délais de fabrications courts avec des formes complexes et sans nécessiter de moules fabriqués au préalable. Cette technologie dite « open source » consomme de la matière plastique vierge. Cependant, à l'heure actuelle, le problème des déchets plastiques est un enjeu majeur pour l'Europe et le monde.

Les laboratoires LINEACT et ERPI collaborent pour développer des axes de recherches communs. Le Lorraine Fab Living Lab (LF2L), plateforme de ERPI, vise une économie circulaire à moyen terme et adopte une démarche verte et durable. Pour cela, elle a acquis une broyeuse de plastique et une extrudeuse pour la réalisation de bobine de fil. L'objectif de ces machines est de fabriquer, à partir de matériaux divers, des bobines de fil nécessaires aux imprimantes 3D. Deux étapes sont nécessaires : broyer le(s) matériau(x) et ensuite réaliser les bobines par extrusion. Le projet consiste ainsi à concevoir une (des) procédures pour l'utilisation de ces machines afin d'obtenir des bobines de n'importe quel matériau exploitable pour l'impression 3D.

Le souhait à court terme est de réutiliser les déchets plastiques en les recyclant et en les régénérant sous forme de fil utilisable avec les imprimantes 3D.

Ce rapport porte sur chacun des éléments nécessaires au cycle complet de réalisation de bobines de fil destinées aux imprimantes 3D.

Table des matières

Introduction.....	1
1. Matières premières	3
1.1 ABS.....	3
1.2 PLA Vierge.....	3
1.3 PLA Recyclé.....	3
2. Trémie.....	5
2.1 Objectif	5
2.2 Informations techniques de la trémie	5
2.2.1 Présentation du système.....	5
2.2.2 Principe de fonctionnement du système	7
2.2.3 Liste des éléments du système électronique	8
2.3 Utilisation de la trémie.....	13
2.3.1 Installation et raccordement de la trémie.....	13
2.3.2 Réglage des paramètres « Angle » et « Temps » d'ouverture	14
3. Extrudeuse.....	16
3.1 Objectif	16
3.2 Utilisation de l'extrudeuse	16
3.2.1 Préchauffage.....	16
3.2.2 Chauffe	17
4. Système d'enrouleur de fil	18
Conclusion	20

1. Matières premières

1.1 ABS

L'acrylonitrile butadiène styrène ou ABS est un polymère thermoplastique présentant une bonne tenue aux chocs, relativement rigide, léger et pouvant être moulé. Il appartient à la famille des polymères styréniques.

L'ABS est la matière noble du thermoformage plastique, utilisée pour de nombreuses applications industrielles. L'ABS se soude, se colle et se décore (peinture, sérigraphie, sublimation).

Sous forme de fil, il est utilisé dans les imprimantes 3D.

1.2 PLA Vierge

Le PLA ou Polylactic acid (Acide polylactique) est une matière plastique d'origine végétale, utilisant communément de l'amidon de maïs comme matière première. Elle est la principale matière première d'origine naturelle utilisée en impression 3D.

En injection plastique, ce matériau est utilisé pour fabriquer des emballages, principalement dans l'alimentaire en substitution des plastiques issus d'énergie fossile, car le matériau est compatible avec un contact alimentaire.

Le PLA est utilisé en impression 3D et constitue avec l'ABS un des matériaux standards pour cette technologie. On a souvent tendance à comparer ces matériaux car ce sont les deux alternatives disponibles pour les imprimantes 3D grand public.

1.3 PLA Recyclé

Le Lorraine Fab Living Lab, en concordance avec les directives européennes qui visent une économie circulaire à moyen terme, adopte une démarche verte et durable. Le souhait est de réutiliser ce plastique en le recyclant et en le régénérant sous forme de fil adéquate aux imprimantes 3D de la plate-forme.

Pour ce faire, le LF2L dispose d'une broyeuse permettant de recycler les objets réalisés avec les imprimantes 3D (pièces ne servant plus, pièces ratées, divers déchets plastiques de type PLA, etc...).



Broyeuse permettant de recycler le PLA et de le rendre sous forme de granules



Granules de PLA recyclé, récupéré dans le bac de la broyeuse

Remarques :

- 1) Il est judicieux de mettre en place un système de classification par nombre de recyclage réalisé sur la matière. Les éléments peuvent être triés au préalable selon leur niveau de vie (nombre de recyclages) et stockés dans des bacs prévus à cet effet.
- 2) La granulométrie en sortie de broyeuse varie beaucoup et fonction des formes de pièces qui y sont injectées (présence de tiges, de poussières, autres formes de tailles variables). Un filtrage des granules sous forme de tamisage avant réutilisation au niveau de l'extrudeuse est envisageable.



Exemple de tamis pouvant être utilisé pour filtrer les granules

2. Trémie

2.1 Objectif

Le but fixé est de mettre en place un système d'alimentation de l'extrudeuse en granules, permettant d'avoir un débit contrôlé de ceux-ci. Ce système doit pouvoir empêcher qu'une accumulation de granules ne se forme à l'entrée de la vis sans fin. De plus, c'est également un moyen d'empêcher que des blocs de granules ne se forment sous l'effet de la température (tend à ramollir le PLA recyclé) et obstruent le passage qui amène à la vis sans fin.

Ce prototype est conçu pour pouvoir répondre à la problématique suivante :

Comment alimenter de façon autonome une extrudeuse en granulés plastiques recyclés pour la fabrication de filament d'impression 3D ?

2.2 Informations techniques de la trémie

2.2.1 Présentation du système

a) Vue d'ensemble



Figure 1 : Schéma d'ensemble du système

b) Vue intérieure de la chambre de passage des granules

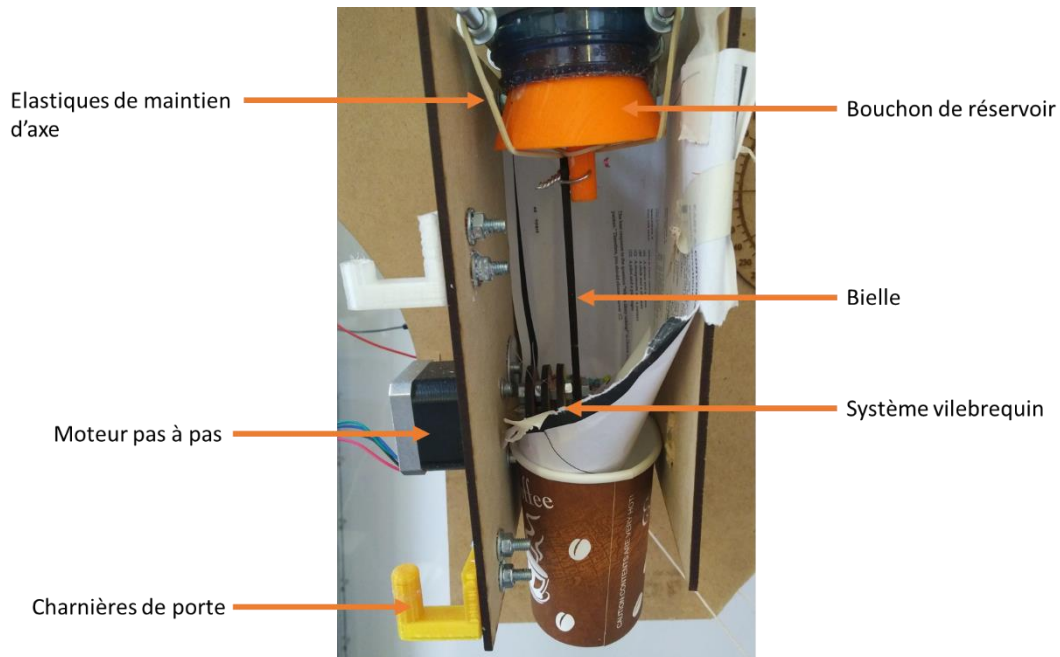


Figure 2 : Schéma interne chambre passage granules

Le moteur est positionné sur le côté gauche de la chambre de passage des granules de façon à utiliser la rotation du moteur électrique pour réaliser un mouvement de translation (principe bielle - piston).

c) Boîtier électronique de régulation

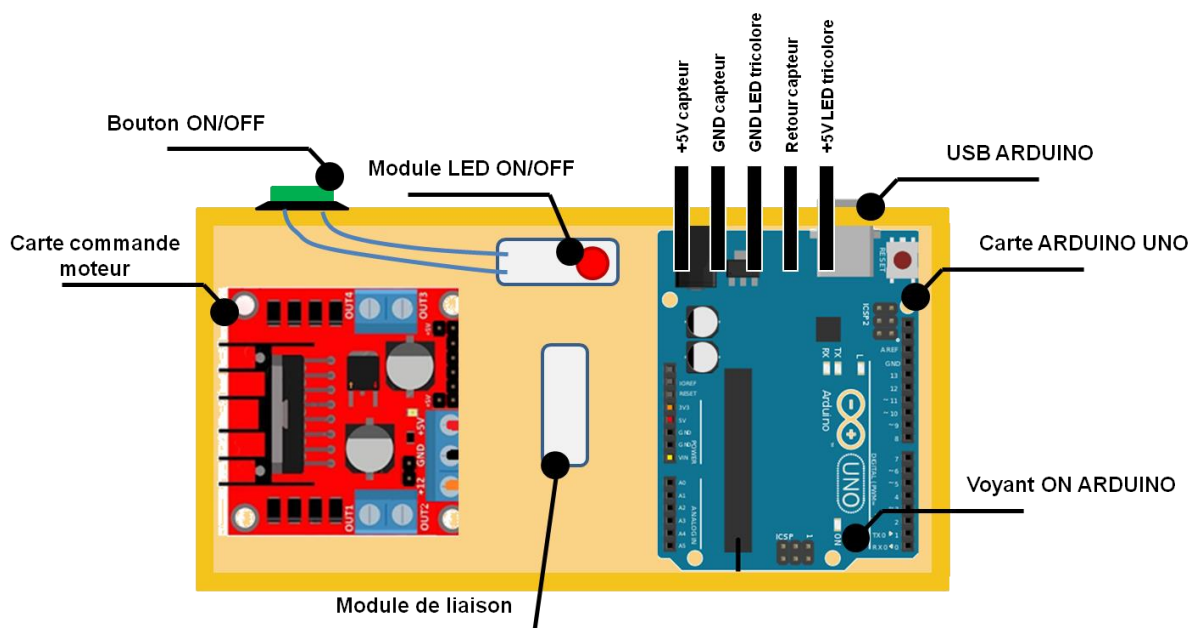


Figure 3 : Schéma carte électronique

d) Entonnoir extrudeuse

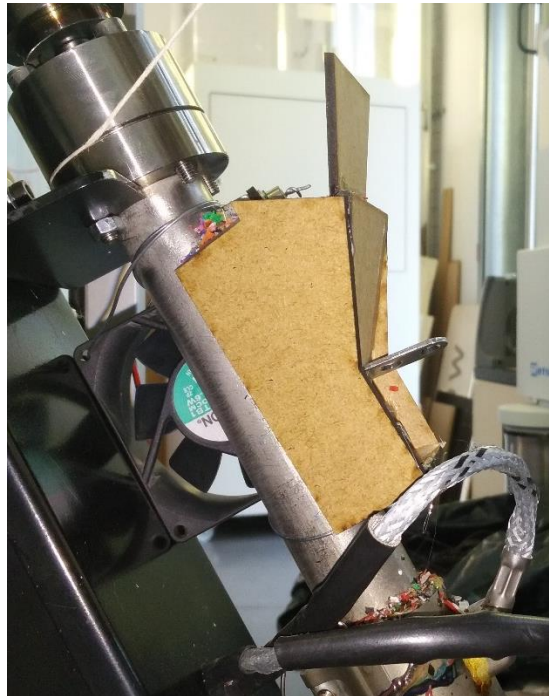


Figure 4 : Schéma entonnoir

L'entonnoir a été conçu de sorte à s'adapter à l'inclinaison de l'extrudeuse, soit un angle de 60°. De plus, sa forme permet d'optimiser le passage des granules en utilisant toute la surface d'absorption des granules (bouche de la vis sans fin).

2.2.2 Principe de fonctionnement du système

Le système final consiste en une trémie à ouverture actionnée par rotation d'un moteur (lui-même piloté par un boîtier électronique).

Le système d'ouverture est constitué d'un bouchon retenu par une bielle et est maintenu en axe par des élastiques. Lors de la rotation du moteur, la descente de la bielle transmet une force de traction au bouchon de réservoir. Celui-ci s'abaisse et permet à son tour le passage des granules vers l'extrudeuse.

La rotation du moteur est ordonnée par l'Arduino présent dans le boîtier de régulation. L'Arduino active le moteur lorsque la photorésistance présente au niveau de l'entonnoir de l'extrudeuse reçoit le flux lumineux émit par la LED. Le programme développé dans l'Arduino permet une rotation du moteur allant de 0° à 150° et un temps d'ouverture allant de 0 seconde à 3 secondes.

2.2.3 Liste des éléments du système électronique

a) Arduino UNO

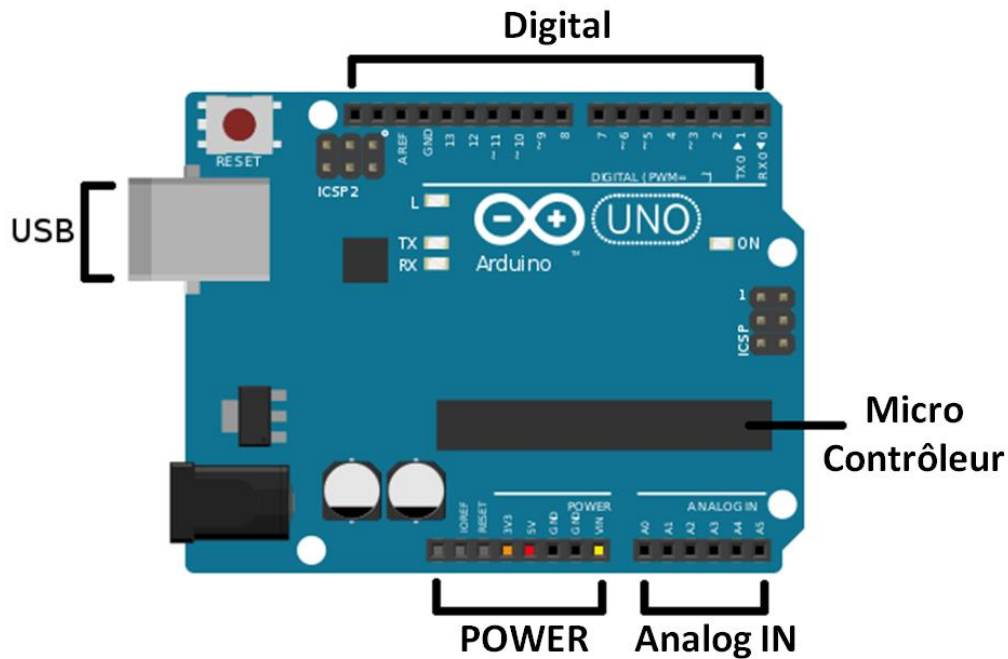


Figure 5 : Schéma ARDUINO UNO

- **Digital** : Ces broches sont des sorties dont l'état peut varier entre « haut » et « bas ». Elles servent notamment à commander la rotation du moteur. Les broches notées PWM peuvent également servir d'alimentation si leurs états sont mis à « haut ».
- **USB** : Cette prise femelle permet de connecter la carte ARDUINO au pc pour transférer le programme. Elle sert également à alimenter la carte ARDUINO.
- **MICRO Contrôleur** : Ce composant électronique est le cerveau de la carte. Il contient le programme ARDUINO.
- **POWER** : Différentes broches permettant d'alimenter des modules annexes en 3,3V – 5V ou 12V
- **Analog IN** : Entrée analogique permettant de récupérer l'état notamment de capteurs.

b) Module L298N

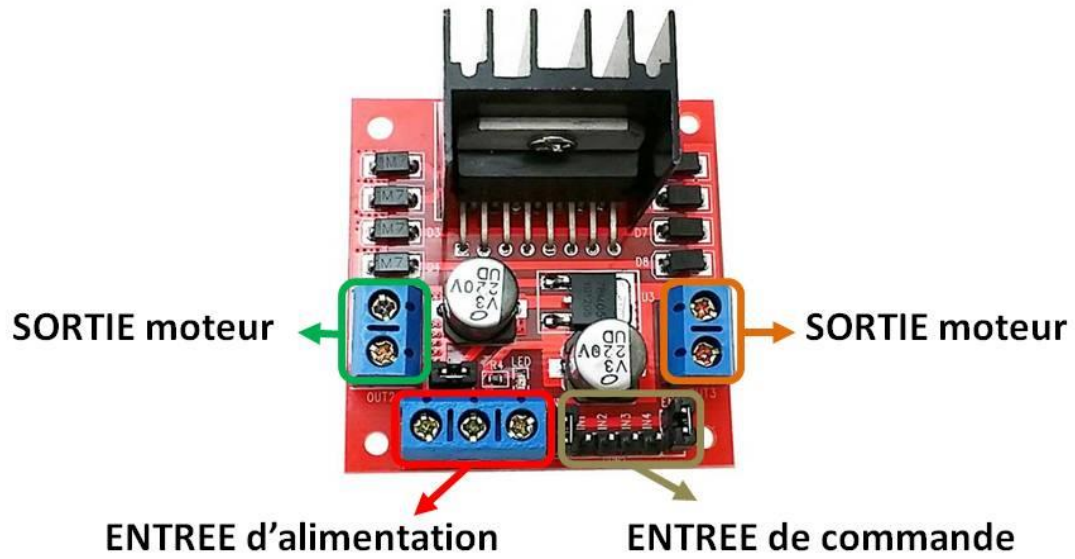


Figure 6 : Schéma module commande moteur

Cette carte permet de piloter électroniquement le moteur. La carte ARDUINO seule ne suffit pas à la rotation de ce dernier. Un pont en H (montage électronique), comme intégré dans le module L298N, est nécessaire.

c) Moteur NEMA 17



Figure 7 : Moteur NEMA 17

Ce moteur transforme l'énergie électrique en énergie mécanique pour mouvoir le système. Le moteur NEMA 17 est de type pas à pas. Celui-ci nous permet de contrôler avec précision l'angle qui lui est donné.

d) Bouton ON/OFF

Grâce à ce bouton il est possible, d'activer ou d'éteindre le système d'alimentation autonome. Ce dispositif est associé à une LED rouge. L'état du système d'alimentation lors du démarrage de l'extrudeuse est normalement éteint. Par appui sur le bouton ON/OFF le système d'alimentation devient opérationnel. Dans ce cas la LED de signalisation s'allume pour confirmer que le système fonctionne.

LED alimentée en 5V en série avec une résistance de 220 Ω

Interrupteur alimenté en 5V en série avec une résistance de 10 k Ω

e) Module photorésistance et LED

Ces deux modules déportés se décomposent en deux parties :

- Un module LED blanche diffusant de la lumière.
- Un module photorésistance permettant de capter la lumière diffusée par la LED.

Suivant s'il y a présence de granulés entre la LED et la photorésistance ou non, la photorésistance ne reçoit pas la même quantité de lumière et donc sa valeur de résistance varie. En fonction de cette valeur reçue par la carte ARDUINO, le système de distribution du granule se met en marche.

Schémas de principe

Les deux modules sont mis face à face

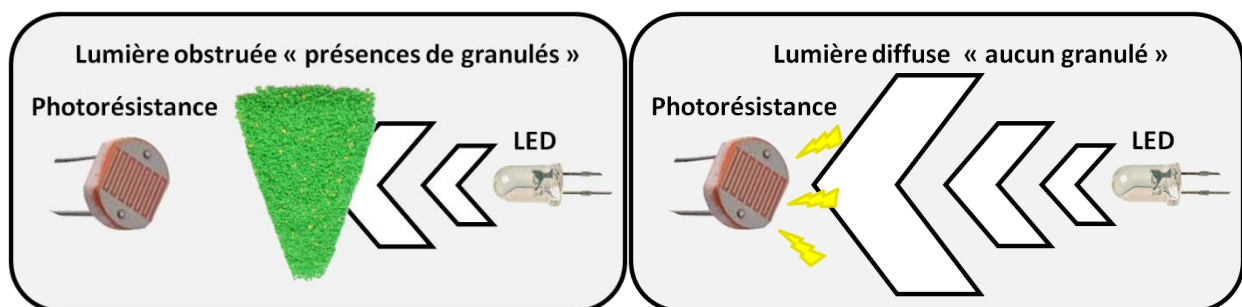


Figure 8 : schéma de principe

Le seuil d'activation du système est défini en fonction de la valeur reçue par la photorésistance et de la puissance lumineuse émise par la LED. La LED est alimentée en 5V en série avec une résistance de 220 Ω .

La photorésistance est alimentée en 5V en série avec une résistance de 10 k Ω .

Valeur de fonctionnement :

Les valeurs ci-dessous ont été récupérées sur le moniteur série du logiciel ARDUINO. Cas photorésistance complètement obstruée (noir complet) = 650.

Cas photorésistance directement éclairée par la LED = 850. Le seuil a été fixé à 800 dans le programme ARDUINO.

Étude statistique démontrant l'intérêt du couple LED-Photorésistance :

L'étude a consisté à noter le poids des granules réceptionnés lors de chaque déplacement du bouchon de réservoir (selon angle et temps d'ouverture). Pour chaque paramètres fixés, l'étude a été réalisée avec 1kg de granules recyclés. La boîte à moustache ci-dessous reprend l'ensemble des résultats obtenus.

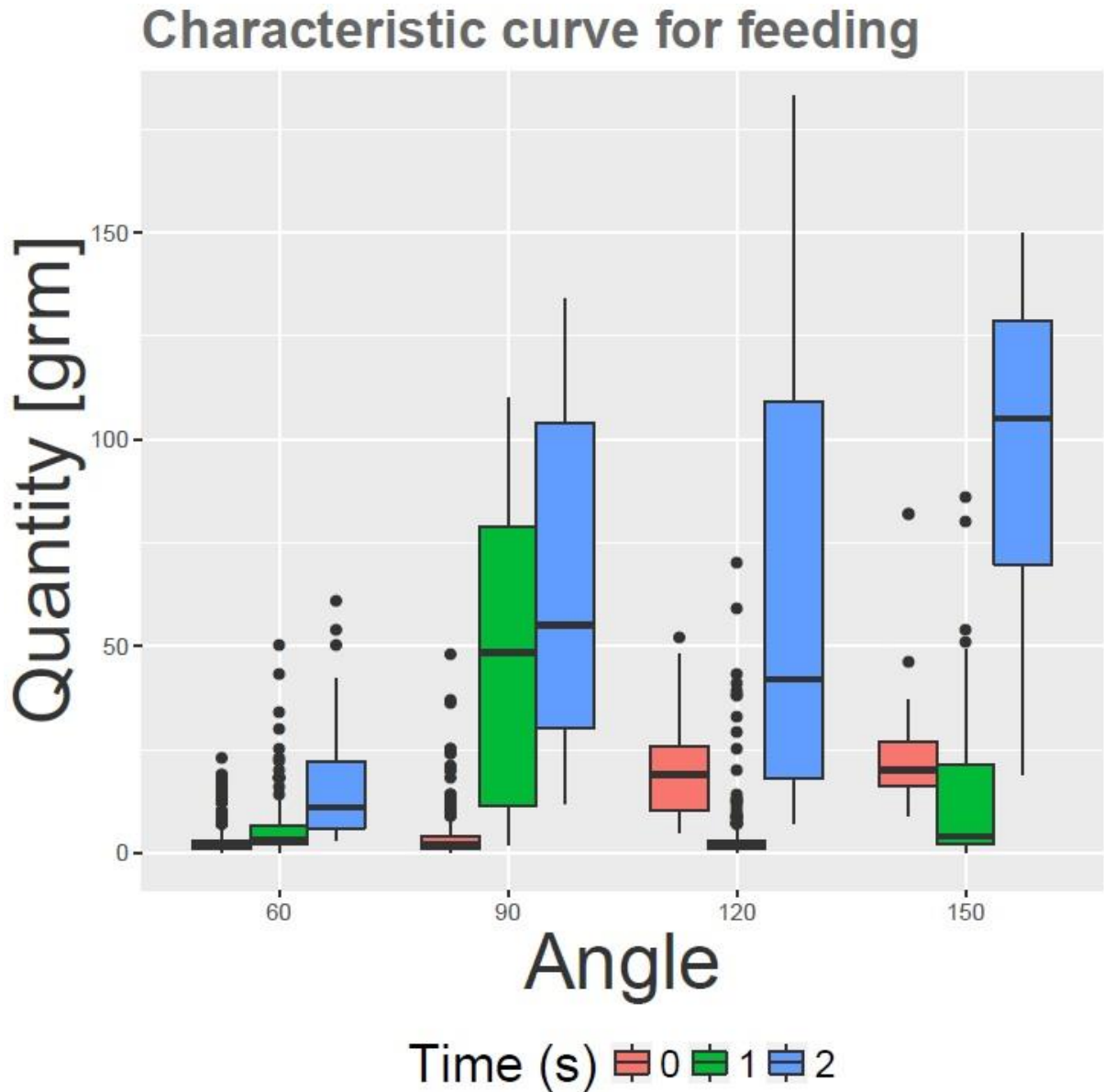
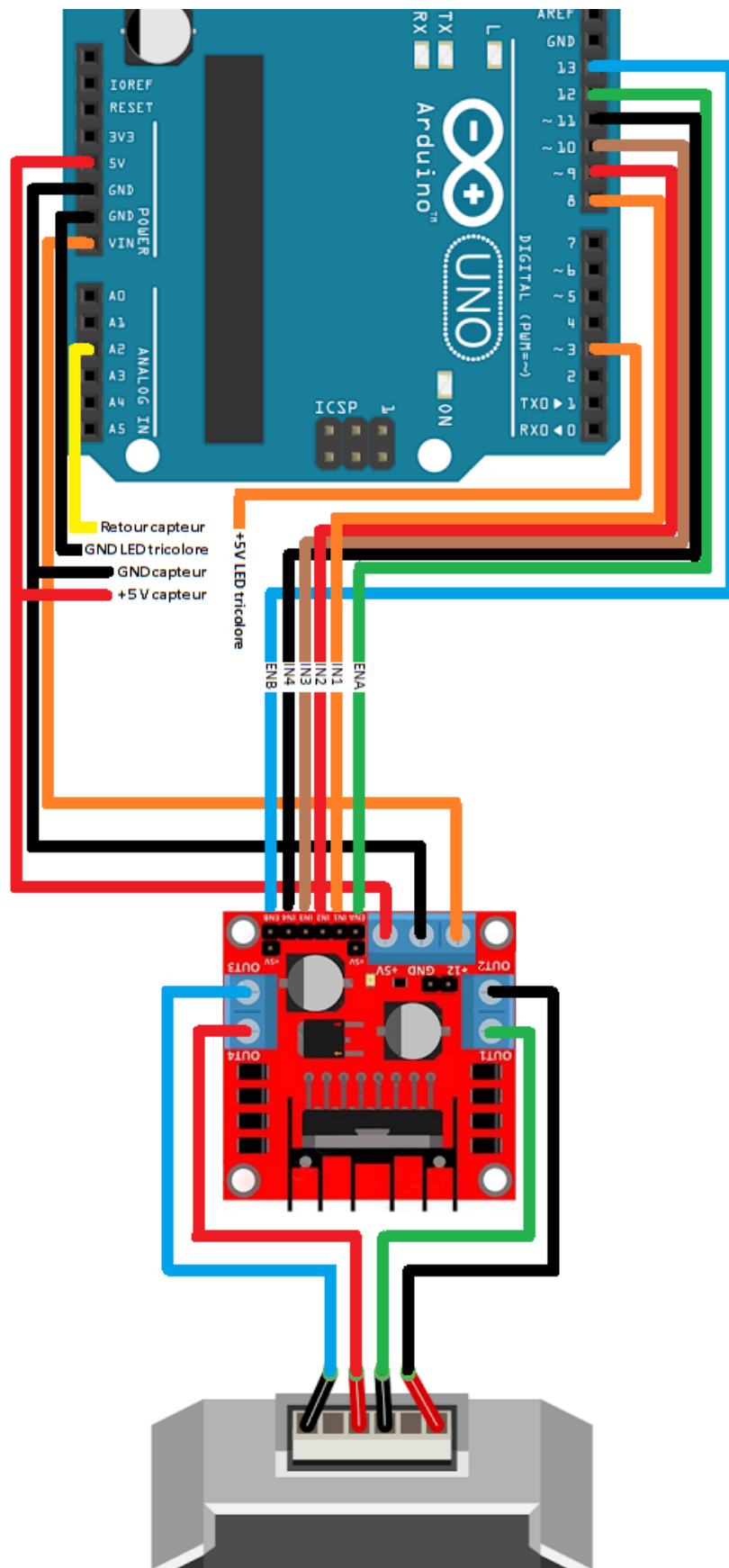


Figure 9 : Résultats tests débit en fonction de l'angle et du temps

Nous pouvons observer que pour un réglage d'angle de 120° ou de 150° avec un temps d'ouverture de 1 seconde, le débit n'est pas linéaire. De plus, toujours pour ce paramétrage nous voyons que le débit est plus faible qu'avec un paramétrage d'angle d'ouverture et de temps moins élevé.

Ce test démontre donc bien l'intérêt du couple LED-Photorésistance afin de réguler le débit de granules injectés vers l'extrudeuse.

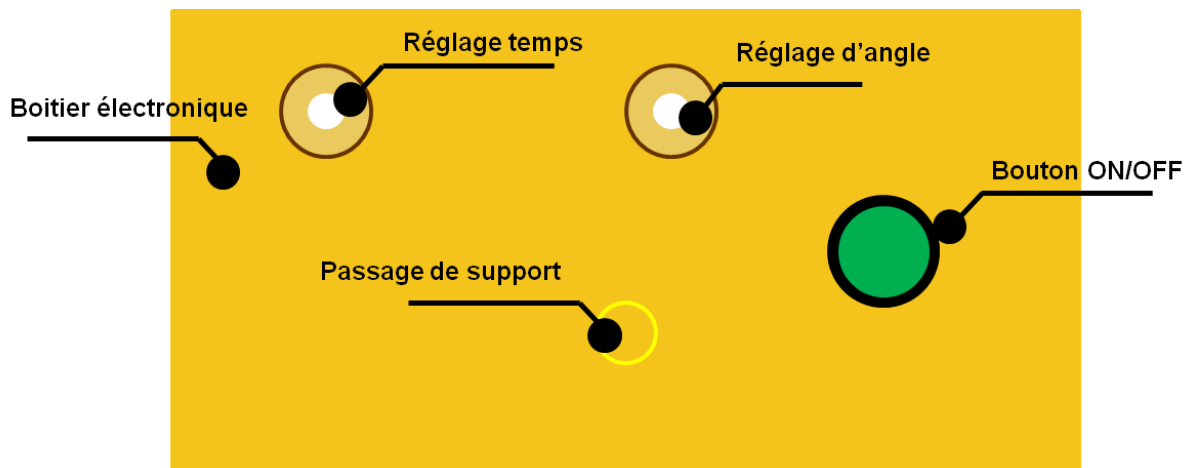
f) Schéma de câblage boîtier électronique



2.3 Utilisation de la trémie

La trémie à granules est un dispositif utilisé pour simplifier et automatiser l'alimentation en granules de l'extrudeuse du « Lorraine Fab Living Lab ». Cet équipement est piloté grâce à un boîtier électronique qui permet d'actionner le dispositif et de paramétrer le temps et l'angle d'ouverture du bouchon de réservoir.

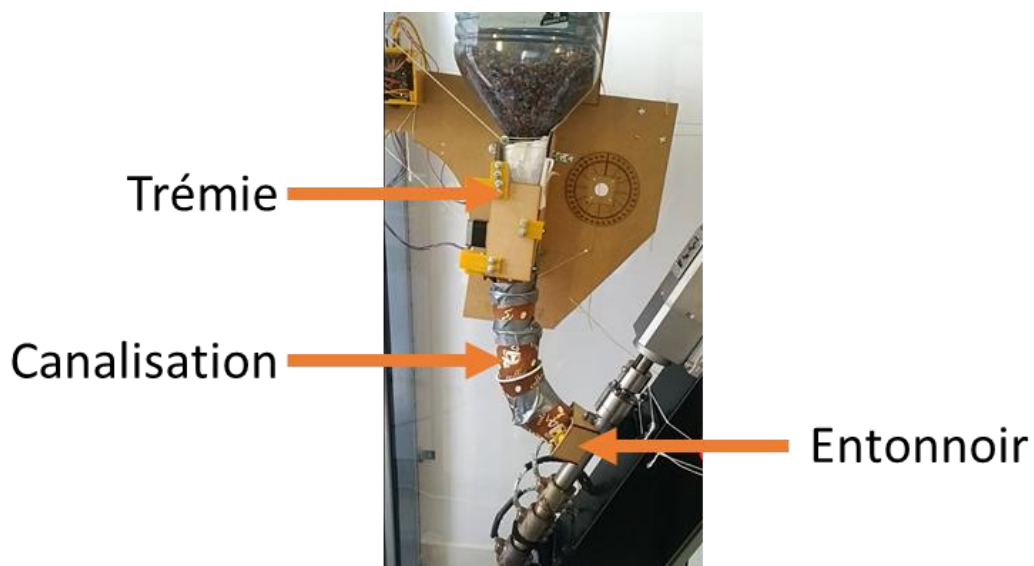
Boîtier électronique - Vue de dessous :



2.3.1 Installation et raccordement de la trémie

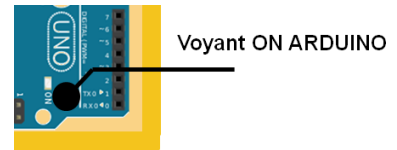
ETAPE 1 : Positionner la trémie et raccordement de la canalisation

Afin d'éviter les fuites et projections de granules, il est nécessaire de raccorder l'embout de la trémie à une canalisation permettant l'acheminement des granules vers l'entonnoir de l'extrudeuse. De plus, si la trémie n'est pas complètement en face de l'entonnoir de l'extrudeuse, il faut prévoir un angle de canalisation permettant aux granules de glisser correctement vers l'extrudeuse.



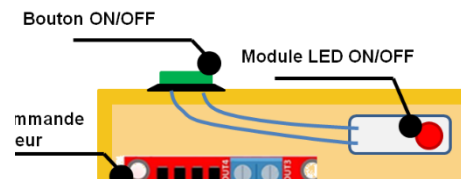
ETAPE 2 : Brancher le boîtier électronique

Si le câble USB n'est pas déjà branché, connectez l'adaptateur USB sur le boîtier électronique et branchez l'autre embout sur une autre source USB (L'embout USB est l'unique moyen d'alimenter le boîtier électronique. Veillez donc à n'utiliser aucun autre port de la carte au risque de détériorer le matériel électronique.). Le voyant ON s'allume en vert si la prise est correctement branchée.



ETAPE 3 : Allumer le boîtier électronique

Allumer le système par un appui simple sur le bouton ON/OFF. Le système s'activera et le voyant LED s'allumera en rouge.



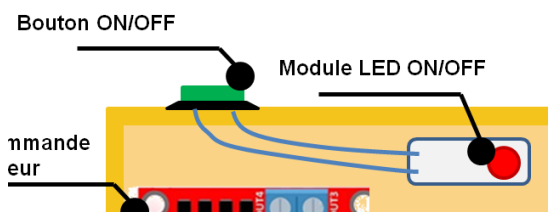
ETAPE 4 : Eteindre le boîtier

Avant d'éteindre l'extrudeuse, éteindre le boîtier électronique. Pour se faire, appuyer sur le bouton ON/OFF lorsque le système de trémie est à l'arrêt. Le boîtier et le voyant LED s'éteignent.

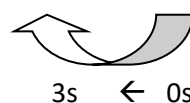
2.3.2 Réglage des paramètres « Angle » et « Temps » d'ouverture

ETAPE 1 : Allumer le boîtier électronique et vérifier que le voyant LED rouge soit allumé

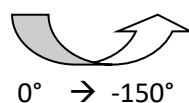
Allumer le système par un appui simple sur le bouton ON/OFF.



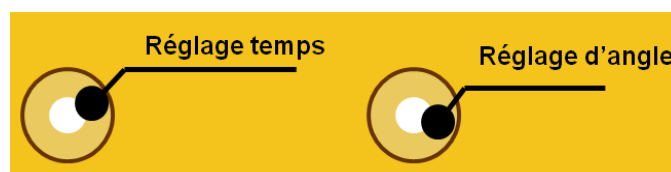
ETAPE 2 : Régler les paramètres « Angle » et « Temps »



3s ← 0s



0° → -150°



Le bouton de droite permet de régler l'angle de 0 à 150° et celui de gauche permet de régler le temps d'ouverture du réservoir à granules de 0 à 3 secondes.

Note : Les réglages de ces boutons peuvent se faire en permanence et ce même après le démarrage du système.

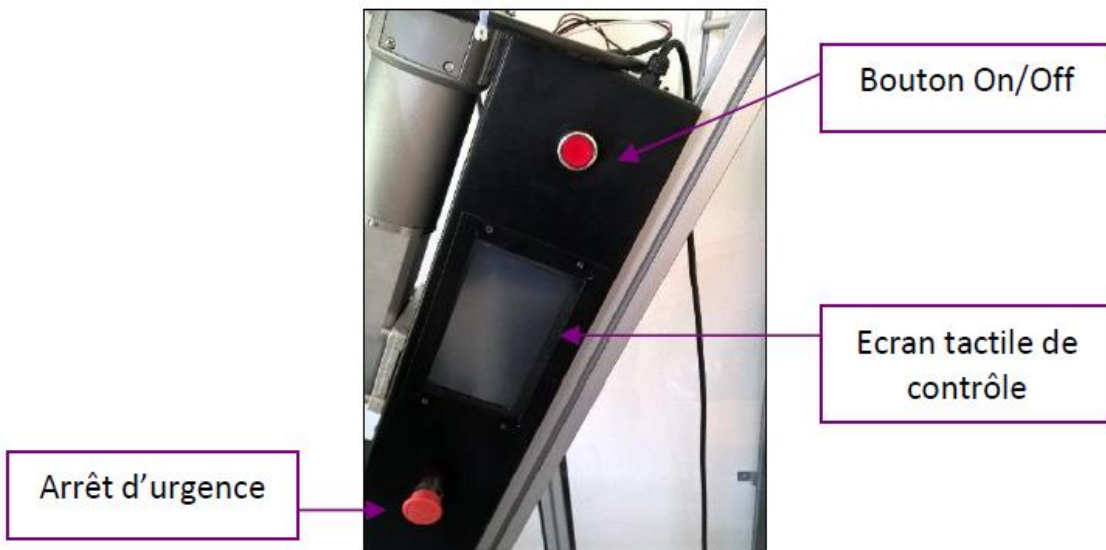
3. Extrudeuse

3.1 Objectif

Mettre en place la procédure ainsi que les paramètres nécessaires à la bonne utilisation de celle-ci. Les paramètres peuvent varier selon le type de granule (ABS ou PLA) ainsi que la taille et la forme de celui-ci afin d'avoir un fil de 1,75 mm de diamètre plus ou moins 0,05 mm, non cassant et homogène.

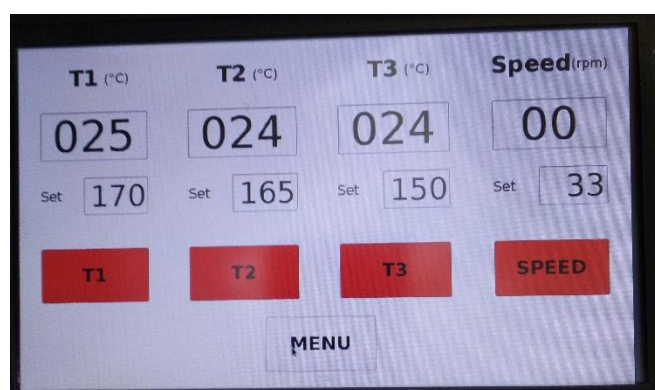
3.2 Utilisation de l'extrudeuse

Allumer l'extrudeuse, cliquer sur START et attendre d'être sur le menu principal.



3.2.1 Préchauffage

1. Appuyer sur T1, T2 et T3
2. Attendre 15 minutes comme indiqué sur l'écran afin que l'extrudeuse soit en température



3.2.2 Chauffe

1. Une fois l'extrudeuse en température, régler T1, T2 et T3 aux températures souhaitées en fonction de la matière à extruder.

PLA : T1=170 °C, T2=165 °C et T3=150 °C

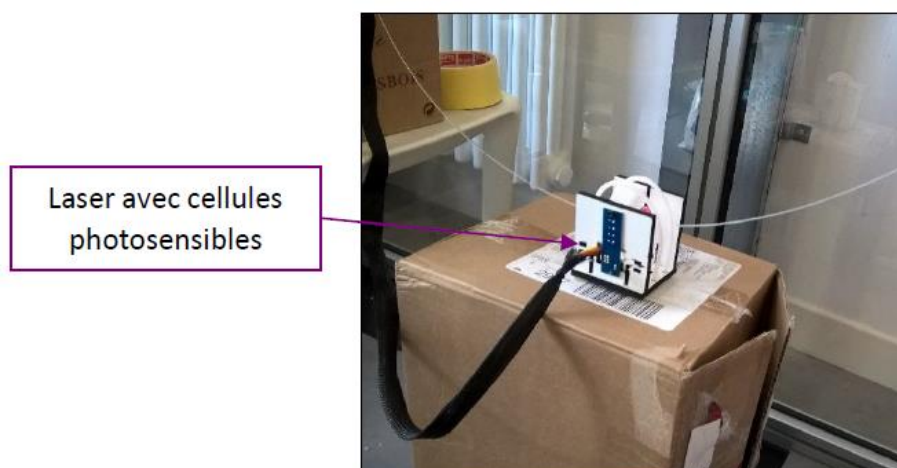
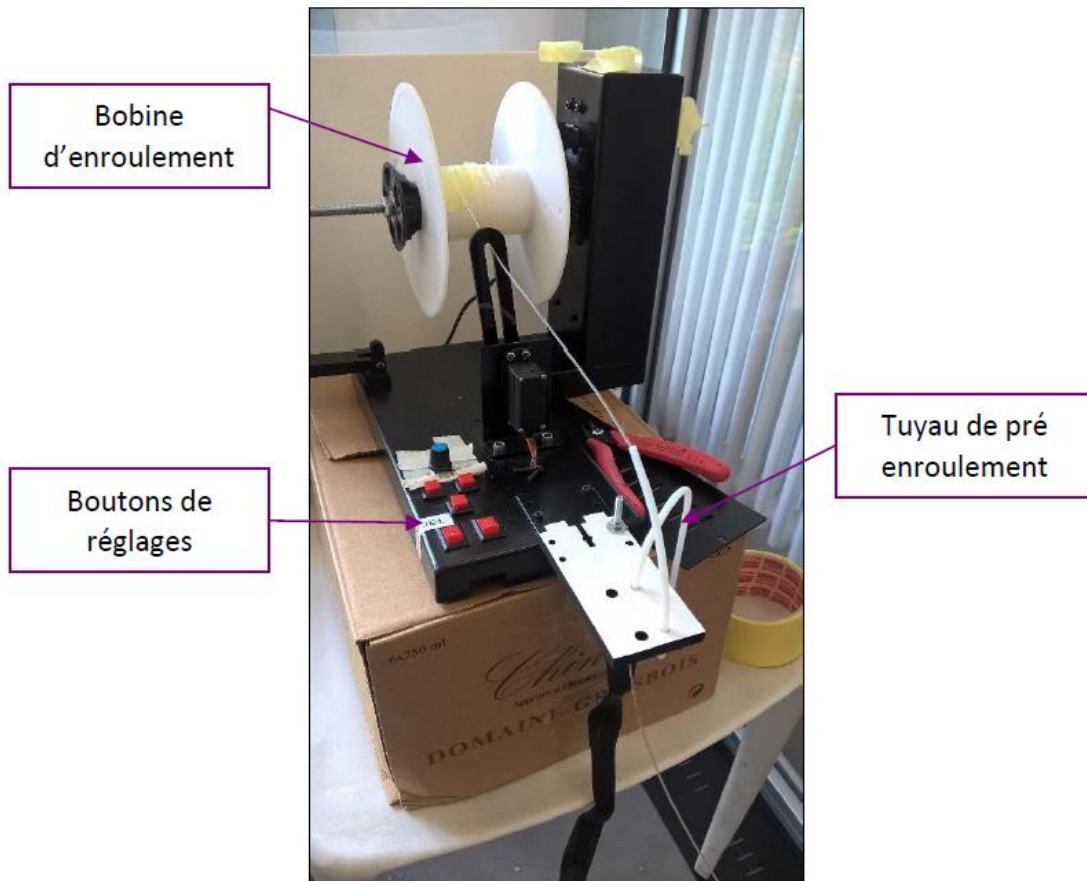
ABS : T1=220 °C, T2=210 °C et T3=200 °C

2. Dès que les consignes sont atteintes, allumer le ventilateur dans « Set FAN » à 100% pour le PLA ainsi que pour l'ABS.
3. Régler dans « Set Speed » le moteur à 33 rpm dans un premier temps (2 minutes) afin de laisser couler le filament jusqu'à ce que l'épaisseur et la qualité du fil soient acceptables pour pouvoir être enroulé. Puis diminuer la vitesse jusqu'à la consigne de 5 rpm.
4. Aller sur l'affichage des consignes de températures et de la vitesse moteur en temps réel, puis activer la vis sans fin (le bouton de sélection sur l'écran devient vert)



4. Système d'enrouleur de fil

L'enrouleur à deux fonctions, le mode manuel et le mode automatique. Pour le mode automatique, l'enrouleur utilise un laser avec 4 cellules photosensibles pour identifier la hauteur du filament et définir la vitesse de l'enrouleur.



Une vidéo explique comment régler l'enrouleur :
<https://www.youtube.com/watch?v=hblxunG4rXc>

Conseils d'utilisation

- Refaire le test au niveau des cellules photosensibles de l'enrouleur pour capter le filament à chaque changement de matière et de couleur de fil à extruder, afin de préparer l'enroulement automatique. Pour cela, une fois l'enrouleur allumé et en mode manuel, appuyer sur le bouton poussoir central. Puis faire 3 passages complets du haut vers le bas au niveau du laser avec un morceau du futur filament. Enfin appuyer une nouvelle fois sur le bouton central et passer en mode automatique. Normalement si vous testez le passage du filament devant les cellules, lorsque le fil est sur la cellule du haut, l'enrouleur tourne quasiment à l'arrêt ou est à l'arrêt et lorsque le fil est sur la cellule du bas ou en dessous, il tournera à sa vitesse maximale.
- Mettre un système de maintien du filament dans l'axe du capteur de niveau car parfois le filament sort du champ du laser et il faut le remettre à la main. Cela est dû aux à-coups produits par le dispositif d'enroulement.



Conclusion

Le prototype est opérationnel. Aujourd'hui la régulation du débit est maîtrisée et les premières bobines de filaments 100% recyclés sont extrudées.

La structure du prototype doit être consolidée d'avantage et son ergonomie est à améliorer.

Un tamisage en sortie de broyeuse s'avère utile car le réglage des paramètres d'utilisation dépend fortement de la granulométrie du PLA recyclé.

La mise en place d'une procédure de contrôle de la qualité du fil extrudé permettra de classer ce dernier et de déterminer les paramétrages optimums de l'extrudeuse. A terme, le but est d'instaurer une norme qualité des fils extrudés à partir de PLA recyclé.