

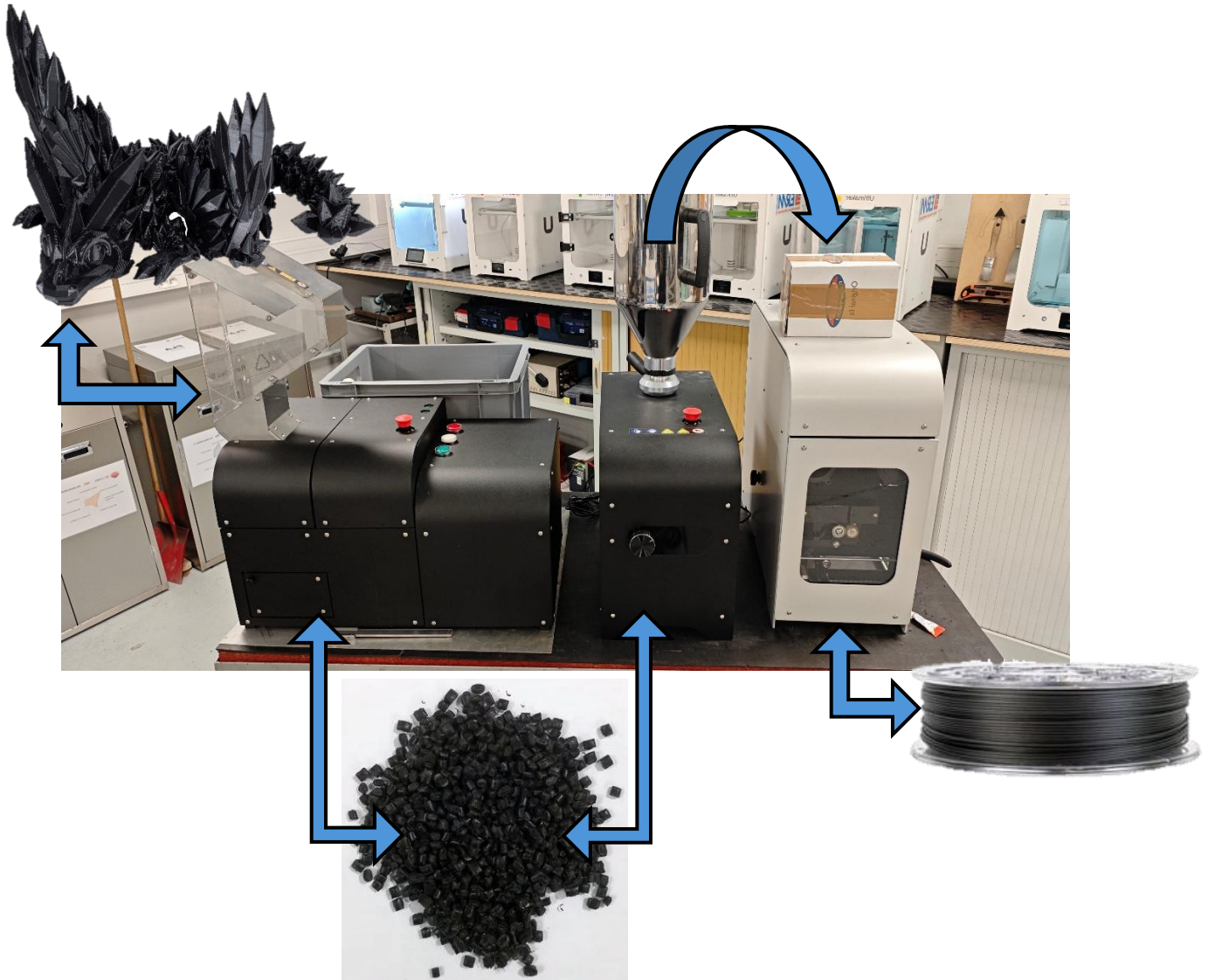
Lilian Galéa

BUT GMP Deuxième année, spécialité SNRV

Date de soutenance : 23/06/2026

Rapport de stage BUT GMP 2A

Recyclage des déchets d'impression 3D



Entreprise d'accueil :

Institut des sciences du mouvement
Systèmes bio inspirés

58, bd Charles Livon - Jardin du Pharo

Tuteur Professionnel :

M. TADRIST Loïc

AIX-Marseille Université :

IUT Génie Mécanique et Productique

413, Avenue Gaston Berger 13625

Aix-en-Provence

Tuteur universitaire :

M. VALLEE Jean-Christophe

Fiche d'identité et de confidentialité

FICHE D'IDENTITE ET DE CONFIDENTIALITE

Année 2026

STAGIAIRE : Galéa Lilian

TITRE : Recyclage des déchets d'impression 3D

RESUME : Recycler les déchets d'impression 3D et concevoir un plan d'expérience pour évaluer la qualité des matériaux recyclés

Nombre de pages : 65 Nombre de références bibliographiques : 13

ENTREPRISE : Institut des sciences du mouvement

Président directeur général : Dr. Martine PITHIOUX

Nombre d'employés : 160

Domaine d'activité : Systèmes Bio Inspirés

Adresse : 163 Avenue de de Luminy

Téléphone : +33 (0)4 91 82 84 00 Télécopie :

Tuteur industriel : Monsieur TADRIST Loïc

Fonction : Enseignant chercheur

Mail : loic.TADRIST@univ-amu.fr Téléphone : +33413946393

PARTIE A REMPLIR PAR LE TUTEUR INDUSTRIEL

Accessibilité de ce rapport (entourer la mention correcte) :

LIBRE

CONFIDENTIEL pendant an(s)

Date : Nom du stagiaire : Signature :

Remerciements

Dans un premier temps, j'aimerais remercier Monsieur TADRIST Loic pour m'avoir proposé un stage à l'IUT Aix-Marseille.

Je remercie également Madame ITALIANO Emy et Monsieur BOUDERLIQUE Florent qui m'ont aidé tout au long du stage.

Enfin je tiens à remercier mon tuteur universitaire, Monsieur VALLEE Jean-Christophe pour avoir veillé au bon déroulement de mon stage et pour s'être tenu disponible.

Sommaire

Table des matières

Fiche d'identité et de confidentialité	2
Remerciements.....	3
Sommaire	4
1 - Introduction	6
2 – Cadre du stage	7
2.1 – Présentation de l'organisme d'accueil.....	7
2.2 – Présentation de l'établissement de stage	8
2.3 – Présentation du service	9
3 – Le rapport technique	10
3.1 – Le sujet de la mission	10
3.1.1 – Contexte.....	10
3.1.2 – Objectif du stage.....	10
3.2 – Les démarches prévisionnelles	11
3.2.1 - Hypothèses :	11
3.2.2 - Méthodologie prévue :	11
3.2.3 - Planification :	11
3.2.4 - Cahier des charges :	13
3.3 – Développement des phases de la mission	14
Mission 1 : Etude de l'influence du cycle de recyclage sur les propriétés mécaniques des matériaux recyclés.....	14
Evaluation des besoins	14
Formules nécessaires	14
Machine nécessaire.....	16
Protocole de test : Caractéristiques d'une éprouvette	18
Norme ISO 527-2 (Norme Européenne).....	21
Iso ASTM D638 (Norme Américaine)	22
Difficultés d'impression	23
Comparaison visuelle.....	23
Résultats des différents essais de traction	24
Comparaison de résultats et conclusion :	29
Mission 2 : Recyclage des matériaux	30

Evaluation des besoins.....	30
Machine nécessaire	31
Protocole et expérimentation pour la production d'une bobine.....	32
Quantité de fil produit	37
Mission 3 : Recyclage du PET	38
Evaluation des besoins.....	38
Expérimentation production de PET.....	38
3.4 – Bilan de l'étude : conclusion technique.....	40
4 – Rapport PPP.....	41
5 – Conclusion générale et personnelle.....	42
Glossaire	43
Webographie	44
Machines 3Devo :	44
Modélisation des éprouvettes :	44
Extrusion PET :	44
Autre :	44
Annexes.....	45
3Devo Shredder :.....	45
Présentation de la machine :.....	45
Utilisation de la machine :	46
Nettoyage de la machine :	47
Airid Dryer :	50
Présentation de la machine	50
Utilisation de la machine	51
Nettoyage de la machine	53
3Devo Composer :.....	54
Présentation de la machine	54
Utilisation de la machine	55
Nettoyage de la machine	59
Organigramme agrandi :.....	61
Diagramme de GANTT :	62
4 -ème de couverture.....	65

1 - Introduction

Dans le cadre de mes études en génie mécanique et productique, il est impératif de réaliser un stage de 10 semaines en fin de deuxième année. Pour l'année 2026, le stage se déroule du 13 Avril au 19 Juin.

J'ai choisi de faire mon stage à l'IUT d'Aix en Provence avec un sujet proposé par Monsieur Tadriss.

Mon sujet est le recyclage des déchets d'impression 3D, c'est un besoin de l'IUT mais qui pourrait également être utile pour tout utilisateur d'imprimantes.

Cela me permet de participer au bon fonctionnement du GMP et à l'amélioration de l'autonomie des élèves.

Ce stage m'a permis d'appréhender la gestion de protocole expérimental en suivant toutes les étapes des phases de tests. Cela commence par la compréhension des besoins de l'IUT, puis une partie réflexion sur les protocoles de tests et enfin une analyse des résultats.

Mon rapport sera divisé en trois parties. Dans un premier temps, la présentation de l'organisme d'accueil. Dans un second temps, je présenterai mon sujet de stage. Enfin, je parlerai de ce que m'a apporté ce stage et d'un métier observé en GMP.

2 – Cadre du stage

2.1 – Présentation de l'organisme d'accueil

Mon stage s'est déroulé dans l'académie d'Aix-Marseille. Il s'agit de la circonscription administrative du ministère de l'Education nationale qui gère les écoles et les universités dans les Bouches du Rhône, le Vaucluse, les Alpes-de-Haute-Provence et les Hautes-Alpes. Cette université accueille environ 121 000 étudiants ce qui la place dans les plus grosses académies avec l'Île-de-France. Les différents campus d'Aix-Marseille sont répartis entre Marseille, Aix-en-Provence et Salon de Provence.

Pour être plus précis, mon lieu de stage est situé à l'IUT d'Aix-en-Provence, sur l'Avenue Gaston Berger. Dans les locaux de génie mécanique et productique. On y retrouve un bâtiment pour les cours théoriques, des laboratoires pour les enseignants-chercheurs et un atelier équipé pour de l'usinage, du prototypage et du bureau d'études.

Ce stage, même s'il est réalisé dans le bâtiment GMP, sera également utile pour l'Institut des Sciences du Mouvement (ISM). L'ISM est un laboratoire de recherche qui dépend de l'université et du CNRS. Ce laboratoire étudie la façon dont bougent les humains, animaux et plantes.



L'ISM est composé d'environ 150 professionnels comme des chercheurs, des ingénieurs et des étudiants en doctorat. En combinant les sciences de l'ingénieur et les sciences de la vie, il leur est ainsi possible de créer des technologies innovantes comme des robots et des prothèses. Ce laboratoire travaille également en partenariat avec des entreprises comme Décathlon, Airbus et Stellantis.

2.2 – Présentation de l'établissement de stage



Figure 1 Atelier vue extérieur

Nous avons donc deux bâtiments principaux à l'IUT d'Aix en Provence : les salles de classe et l'atelier. Je me suis installé dans les ateliers dans la salle nommée « InProto ». Cette salle est équipée d'impressions 3D et d'une machine de traction



Figure 4 Imprimantes 3D

Ce sont les machines qui vont m'être utiles lors de mon stage pour la fabrication et les tests sur éprouvettes. Il faut également produire les matériaux recyclés, c'est pourquoi les machines de recyclage m'ont aussi été fournies.



Figure 3 Machine de recyclage



Figure 2 Machine de traction

2.3 – Présentation du service

L'ISM est composé de nombreux services, les principaux sont : la direction, les instances représentatives, la recherche, les services communs et enfin les plateformes.

Sur le site d'Aix en Provence nous avons une équipe de recherche et une plateforme (entouré en rouge sur la figure 5)

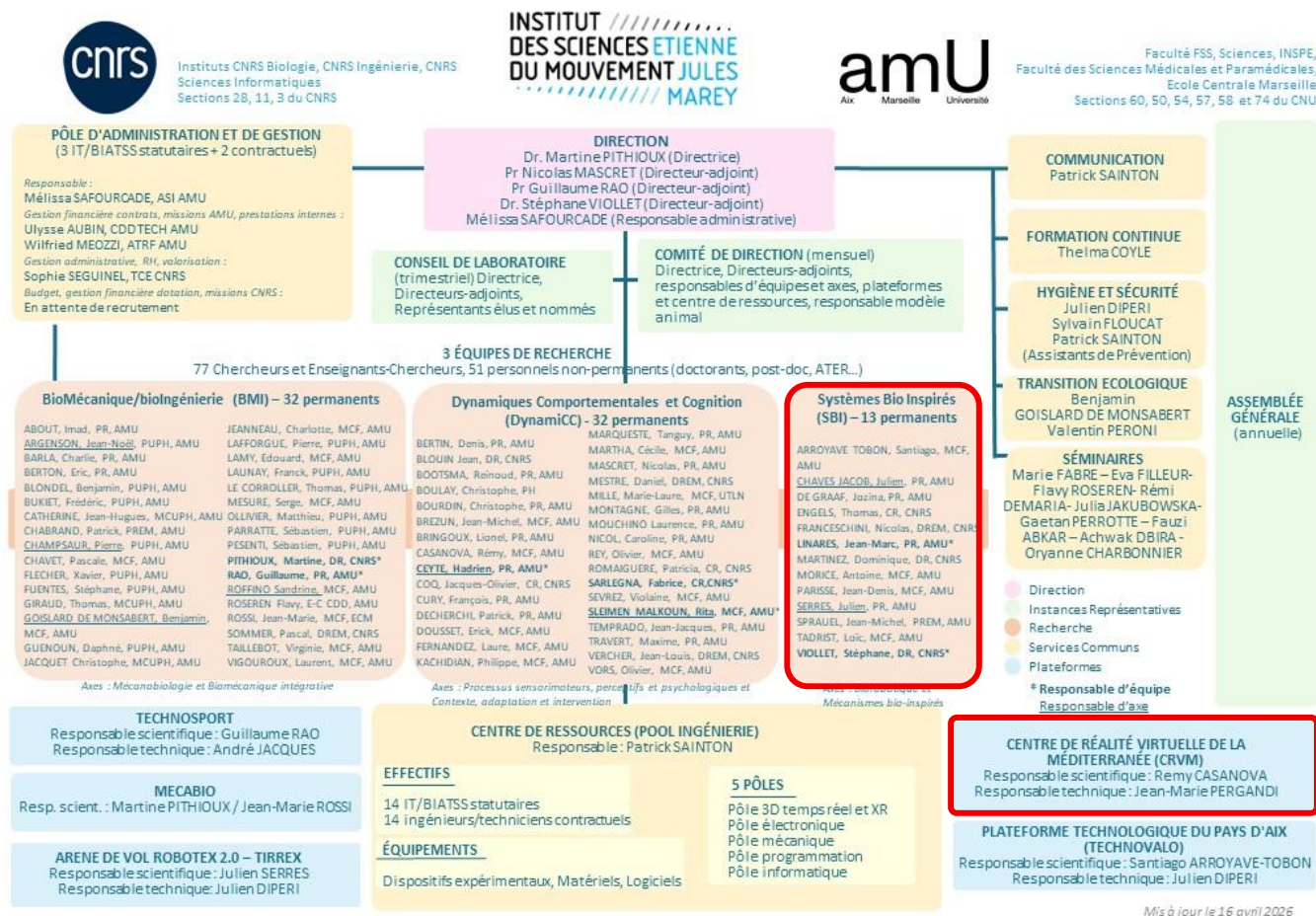


Figure 5 Organigramme

Je suis rattaché à l'équipe de recherche des systèmes bio inspirés (SBI), le but de cette équipe est de comprendre le fonctionnement du vivant en passant par la mécanique.

[Lien organigramme agrandi](#)

3 – Le rapport technique

3.1 – Le sujet de la mission

3.1.1 – Contexte

L'IUT met à disposition des élèves la salle InProto avec de nombreuses imprimantes 3D leur permettant de réaliser des projets de deuxième année ou des projets personnels. Toutes ces utilisations vont mener à des pertes de matière, que ce soient des pièces mal imprimées ou des pertes dues aux supports de pièces. Dans une idée d'économie et de respect de l'environnement il serait intéressant de rendre les pertes réutilisables.



Figure 6 Poubelles de tri

C'est une idée qui avait déjà été envisagée par l'IUT comme on peut voir avec ces poubelles de tris (voir figure 6 Poubelles de tri) comprenant les différents matériaux disponibles à l'IUT.

3.1.2 – Objectif du stage

Ce stage de 10 semaines porte sur l'optimisation du processus de recyclage des matériaux tel que le PLA et le PET (voir glossaire) en mettant l'accent sur les tests des propriétés mécaniques des matériaux recyclés. Il s'agit également de créer un plan d'évaluation expérimental pour vérifier l'existence d'une différence de qualité entre les matériaux recyclés et neufs. Les tests vont être réalisés grâce à une machine de traction, ce qui va nous permettre d'obtenir la résistance élastique et le module de Young comme valeurs de comparaisons.

3.2 – Les démarches prévisionnelles

3.2.1 - Hypothèses :

D'après les recherches faites en début de stage, il est possible que le PLA recyclé soit plus cassant et qu'il ait un module de Young inférieur au PLA neuf. Cela viendrait des processus de broyage et de chauffe qui viendraient casser les chaînes moléculaires provoquant une diminution de la masse molaire dans le matériau et ce à chaque cycle de recyclage.

3.2.2 - Méthodologie prévue :

Pour vérifier si le PLA devient en effet plus cassant et a un module de Young inférieur, un test de traction semble être l'essai le plus pertinent. L'essai de traction est également la méthode standard pour évaluer les caractéristiques des polymères. Il évite également les problèmes de flambement commun sur les petites éprouvettes qu'aurait un test de compression.

Pour valider les essais, il faudra vérifier la courbe de traction. Celle-ci ne doit présenter aucune « chute » de charge qui pourrait indiquer un problème du capteur.

3.2.3 - Planification :

Prévu : [\(cliquer ici pour voir le diagramme\)](#)

Nom	Date de début	Date de fin
▼ Phase de préparation et d'études	13/04/2026	27/04/2026
Intégration	13/04/2026	14/04/2026
Analyse du besoin	15/04/2026	21/04/2026
Recherche de solutions	22/04/2026	27/04/2026
▼ Essai sur PLA	28/04/2026	11/05/2026
Détermination des essais	28/04/2026	30/04/2026
Réalisation des essais	01/05/2026	07/05/2026
III Analyse des résultats	08/05/2026	11/05/2026
▼ Essai sur PET	12/05/2026	26/05/2026
Evolution du protocole	12/05/2026	14/05/2026
Réalisation des essais	15/05/2026	21/05/2026
Analyse des résultats	22/05/2026	26/05/2026
▼ Production	27/05/2026	19/06/2026
Production bobines de PLA	27/05/2026	11/06/2026
Production Bobines de PET	12/06/2026	19/06/2026

Réalisé :

Nom	Date de début	Date de fin
▼ Phase de préparation et d'études	13/04/2026	23/04/2026
Intégration	13/04/2026	13/04/2026
Analyse du besoin	14/04/2026	16/04/2026
Recherche de solutions	17/04/2026	23/04/2026
▼ Production bobines PLA	24/04/2026	13/05/2026
Broyage	24/04/2026	30/04/2026
Séchage	01/05/2026	13/05/2026
Extrusion fil	01/05/2026	13/05/2026
▼ Essai sur PLA	14/05/2026	01/06/2026
Détermination des essais	14/05/2026	18/05/2026
Impression des éprouvettes	19/05/2026	21/05/2026
Réalisation des essais	22/05/2026	28/05/2026
Analyse des résultats	29/05/2026	01/06/2026
▼ Adaptation procédé PET	02/06/2026	12/06/2026
Evolution du protocole	02/06/2026	04/06/2026
Nettoyage	05/06/2026	05/06/2026
Broyage	08/06/2026	09/06/2026
séchage	10/06/2026	12/06/2026
Extrusion fil	10/06/2026	12/06/2026
▼ Production bobine PLA	15/06/2026	18/06/2026
Séchage	15/06/2026	18/06/2026
Extrusion fil	15/06/2026	18/06/2026
Nettoyage des machines	19/06/2026	19/06/2026

Nettoyage du PET

Lors de la planification, la partie « production de bobines » a grandement été sous-évaluée dans planning prévu. L'adaptation du procédé pour le PET a également été complètement revue due à la quantité de matériaux disponibles et à la difficulté rencontrée lors de l'extrusion/production de bobines.

3.2.4 - Cahier des charges :

Pour la partie « cahier des charges », la décision a été prise de séparer le stage en trois parties :

- Broyage
- Production de bobines
- Essais de traction

La séparation du cahier des charges vient de la différence des besoins entre chaque tâche.

Cahier des charges -> Broyage :

Fonction	Critères	Flexibilité
FP1 : Produire des granulés	- Granulés utilisables par l'extrudeuse	F0 (doit pouvoir être utilisable)
FC1 : Assurer la pureté des granulés	- Taux de contamination acceptable	F0 (aucun mélange acceptable)
	- Identification des bacs de granulés	F0 (nécessité de connaître les matériaux)
FC2 : Calibrer les granulés	- Dimensions des granulés	F1 (4,5 mm maximum)
	- Homogénéité des granulés	F3 (Nécessite uniquement inférieur à 4,5 mm)
FC3 : Gérer l'humidité	- Plage de température	F1 (il faut sécher mais pas bruler les grains)
	- Respecter les données constructeur	F1 (abaques en ligne à respecter)

Cahier des charges -> Production de bobines :

Fonction	Critères	Flexibilité
FP1 : Extruder un filament utilisable	- Diamètre nominal	F0 (diamètre 2,85 mm visé)
	- Tolérance sur le diamètre	F1 ($\pm 0,1$ mm à respecter)
FC1 : Identifier	- Les bobines doivent être identifiables facilement	F0 (nécessité de connaître le matériau)

Cahier des charges -> Essais de traction :

Fonction	Critères	Flexibilité
FP1 : Evaluer les propriétés mécaniques	- Conformité des éprouvettes	F0 (les éprouvettes doivent être conformes à la norme)
	- répétabilité des mesures	F0 (doit permettre des mesures comparables)
	- Procédé de fabrication	F0 (doit être imprimable)
FC1 : Analyser les données	- Exportation des données	F0 (doit être récupérable)

3.3 – Développement des phases de la mission

Mission 1 : Etude de l'influence du cycle de recyclage sur les propriétés mécaniques des matériaux recyclés

Evaluation des besoins

Dans un premier temps, voici une rapide définition des matériaux sur lesquels nous allons travailler, le PLA et le PET. Ce sont des polymères thermoplastiques, cela signifie que le matériau fond sous l'effet de la chaleur et se solidifie quand il est refroidi.

Pour les tests, nous avons besoin de définir les caractéristiques que nous voulons obtenir avec, dans un premier temps, le PLA recyclé.

- 1- Module de Young (E) : il permet de mesurer la capacité du PLA à résister à une déformation élastique. Si le PLA recyclé a un module de Young plus faible que le PLA classique cela veut dire qu'il se déforme plus facilement avec une charge équivalente.
- 2- Contrainte Maximale (σ_{max}) : elle permet de mesurer la contrainte maximale d'un matériau, dans notre cas pour le PLA.
- 3- Visuel : une comparaison visuelle serait également intéressante.

Formules nécessaires

1. Calculer le module de Young (E) :

L'équation qui est issue de la loi de Hooke se note

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

E le module de Young en MPa

Avec σ la contrainte en N/mm²

ϵ la déformation unitaire (sans unité)

Il est également possible de vérifier graphiquement le module de Young (voir figure 7 Vérification graphique du module de Young) :

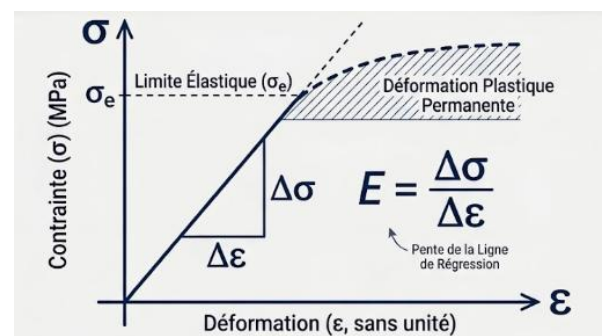


Figure 7 Vérification graphique du module de Young

2. Calculer la contrainte (σ) :

Avec les données que nous avons, nous pouvons en déduire l'équation à utiliser qui est :

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

σ la contrainte en MPa (N/mm²)

F la force appliquée en N

S la section de l'éprouvette en mm²

3. Calculer la déformation (ϵ) :

Nous avons également besoin de la déformation que nous pouvons calculer de la façon suivante :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

ϵ la déformation unitaire (sans unité)

ΔL est l'allongement (L-L₀)

L₀ est la longueur initiale

Machine nécessaire

Pour ce faire nous aurons besoin d'une machine de traction (voir figure 10 machine de traction) qui va nous permettre de faire des essais de traction sur les éprouvettes en appliquant une force aux deux extrémités (voir figure 8 éprouvette).



Figure 8 Epreuve

Le capteur de force (voir figure 9 Capteur de force) va nous permettre de récupérer la force appliquée sur l'éprouvette en daN. Comme vu précédemment cette valeur nous permettra de calculer sigma (σ).



Figure 9 Capteur de force

La déformation va être mesurée grâce à la position des mors. Plus précisément en enregistrant l'évolution de la distance entre les mors lors du test.



La sensibilité du capteur nous permet de mesurer avec une précision de 3,96 daN ce qui est suffisant pour les éprouvettes.

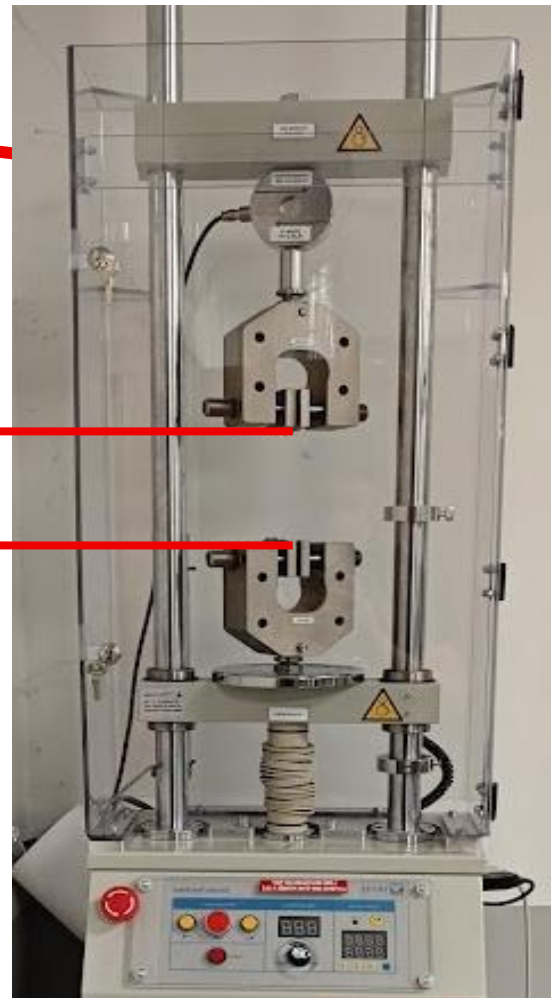


Figure 10 Machine de traction

On peut regarder une courbe de traction classique pour comprendre les données que nous cherchons. (Voir figure 11 exemple courbe de traction)

Les deux axes sont sigma (σ) et epsilon (ϵ) qui sont les données que nous allons récupérer lors des essais de traction.

E (module de Young) est la pente que nous cherchons par le calcul.

Le module de Young s'arrête à R_e (résistance élastique), si cette limite est dépassée le matériau ne retournera plus à sa longueur d'origine.

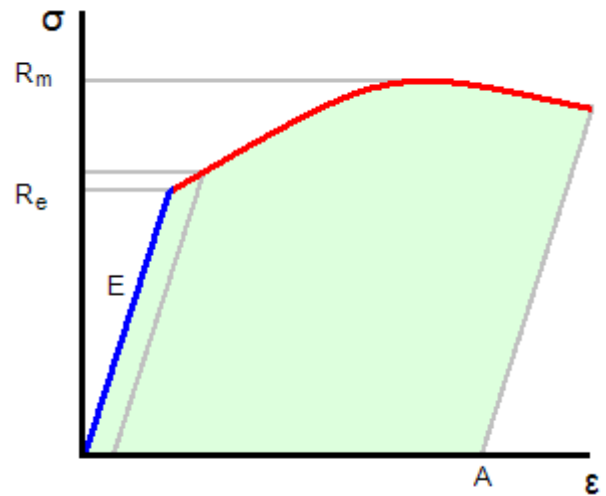


Figure 11 Exemple courbe de traction

Il entre alors dans le domaine rouge qui est le domaine plastique. La valeur maximale du domaine plastique se nomme R_m . Lorsque R_m est dépassé, la contrainte diminue, cela est dû au phénomène de striction (amincissement localisé de l'éprouvette) qui se produit juste avant la rupture du matériau.

Le point A est l'allongement après rupture qui est exprimé en pourcentage (%).

Protocole de test : Caractéristiques d'une éprouvette

Détermination du nombre d'éprouvettes :

Pour commencer les tests, il nous faut définir le nombre d'éprouvettes à réaliser.

- 1- Matériaux :
 - a. Neuf
 - b. Recyclé
- 2- Position d'impression :
 - a. Impression horizontale
 - b. Impression verticale
- 3- Taux de remplissage
 - a. 10% * 3
 - b. 30% * 1
 - c. 50% * 1
 - d. 70% * 3

Nous avons donc :

Matériaux * position d'impression * taux de remplissage = Nombre d'éprouvettes

$2 * 2 * (3+1+1+3) = 32$ éprouvettes à tester

On arrive à un total de 32 éprouvettes à imprimer et tester.

Equipement et matériel :

Machine de traction

Micromètre 2T

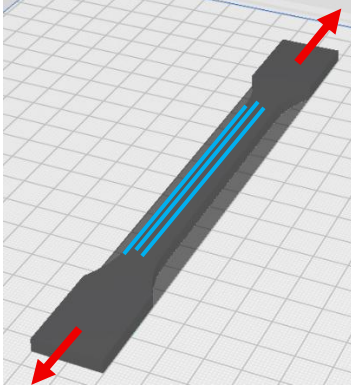
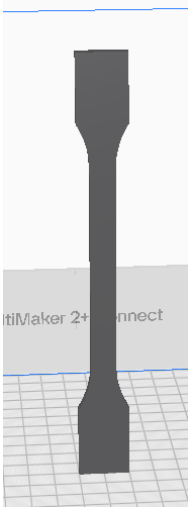
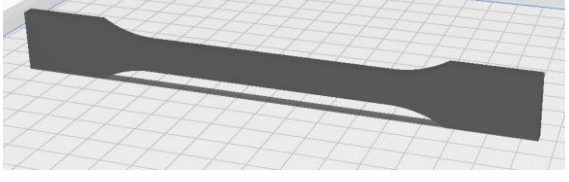
Eprouvettes de différentes dimensions

Impression 3D par dépôt de fil fondu (FDM)

Logiciel « LM_Acq2V »

Procédure opératoire :

- Pour les règles spécifiques à l'impression 3D d'une éprouvette, nous avons

1- L'orientation d'impression, à plat l'impression va être la plus résistante car les filaments (fibres) de matières déposées lors de l'impression sont dans la direction de l'effort.  : sens effort  : fibre	
2- Pour l'impression à la verticale, les efforts vont principalement faire céder la pièce en délamination. Cela ne nous permet pas de déterminer un module de Young fiable.	
3- Sur la tranche, les risques viennent de l'écrasement des mors qui peuvent créer un début de délamination mais également de la qualité de l'impression	

Nous avons ici trois positions mais seulement deux vont être utilisées. Les solutions 1 et 2 vont être retenues car elles sont radicalement différentes. Les solutions 1 et 3 sont trop similaires avec le sens d'impression de la fibre et il ne serait donc pas intéressant d'effectuer des tests sur ces éprouvettes.

Le remplissage va également jouer un rôle dans la solidité de l'éprouvette. En fonction de la quantité de remplissage et de la forme de ce remplissage les mesures peuvent varier.

Pour vérifier la variation du module de Young et de la résistance élastique, il a été décidé de faire des éprouvettes avec 10, 30, 50, 70 % de remplissage. Nous allons garder le remplissage gyroid (voir figure 12 formes de remplissages) nous permettant de comparer l'influence du pourcentage de remplissage sans variation de la forme de remplissage.

Lines	Cross 3D
Tri-Hexagon	Gyroid
Cubic Subdivision	Lightning
Octet	Honeycomb
Quarter Cubic	Octagon
Concentric	Grid
Zig Zag	Cubic
Cross	Triangles

Figure 12 Formes remplissages

La taille de la buse doit rester la même lors de l'impression des différentes éprouvettes. Changer la taille de la buse va influencer sur l'épaisseur des traits en largeur et en hauteur. Des couches plus importantes en largeur peuvent améliorer l'adhérence de la pièce, donc modifier la force que peut supporter l'éprouvette.

- Une fois l'impression de l'éprouvette finie, il faut vérifier sa conformité par rapport à la norme. Il faut donc prendre des mesures à vide en se référant à la partie « [Norme ISO 527-2 \(Norme Européenne\)](#) ».
- Faire une bonne mise en position est important, cela permet d'éviter les contraintes liées à des mors non alignés.
- Connecter l'ordinateur à la machine de traction à l'aide d'un port USB pour récupérer les informations ΔL et F en daN.

Vérifier la bonne connexion, faire la remise à zéro des données, commencer à enregistrer les mesures.

En réglant la machine sur 20 mm/min appuyer en continu sur le bouton pour commencer l'essai de traction.

Aller jusqu'à rupture de l'éprouvette.

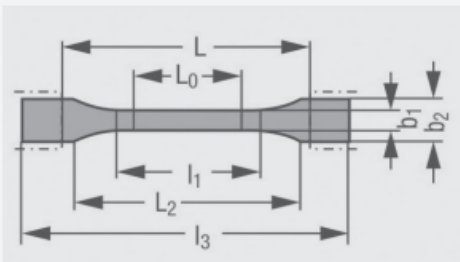
Sauvegarder et traiter les données à l'aide du logiciel Excel.

Norme ISO 527-2 (Norme Européenne)

La norme européenne pour les éprouvettes nous permet d'avoir des résultats comparables à d'autres tests en ligne ce qui permet de vérifier la cohérence de nos résultats.

Il existe deux types d'échantillons :

- 1A qui sont des échantillons obtenus par moulage ou injection
- 1B qui sont des échantillons obtenus par presse ou usinage mécanique



L_0 Longueur de référence

L Écartement entre outillages

l_1 Longueur de la partie parallèle étroite/Diamètre interne

l_2 Écartement entre les parties parallèles larges

l_3 Longueur totale / Diamètre externe

b_2 Largeur éprouvette dans la zone de l'épaulement

b_1 Largeur éprouvette dans la zone de la longueur de référence

h Épaisseur éprouvette

Type d'échantillon	L_3	L_1	B_2	B_1	H	L_0	L
1A	=170	80 ± 2	20 ± 0.2	10 ± 0.2	4 ± 0.2	50 ± 0.5	115 ± 1
1B	>150	60 ± 0.5	20 ± 0.2	10 ± 0.2	4 ± 0.2	50 ± 0.5	115 ± 1

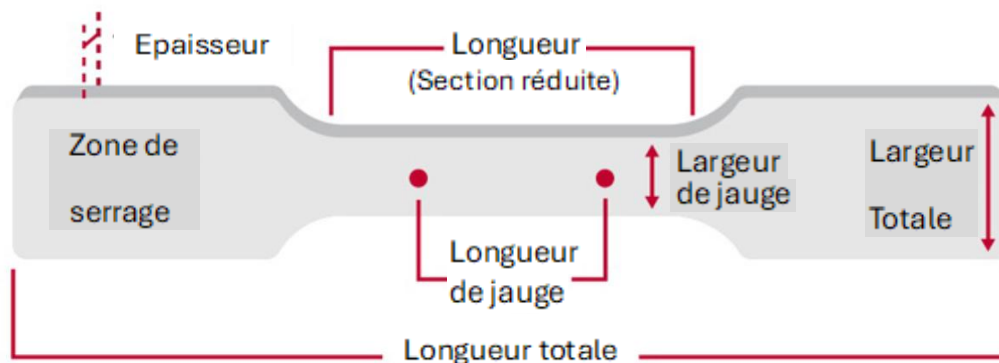
Pour faire les essais, les éprouvettes de la norme européenne ont été choisies. Ce choix a été fait en se basant sur les entreprises alentour qui vont être plus enclines à utiliser cette norme. Il serait intéressant pour nous de pouvoir proposer nos recherches à des entreprises comme Airbus ou Pellenc ST.

Iso ASTM D638 (Norme Américaine)

Il existe également une norme américaine qui pourrait être utilisée pour comparer les résultats avec les éprouvettes utilisant cette norme.

Il existe 5 types d'éprouvettes, chacune ayant des dimensions différentes.

Type I	Choix utilisé pour des matériaux disponibles en quantité suffisante
Type II	Recommandé lorsque le matériau ne rompt pas avec une éprouvette type I
Type III	Requis pour les matériaux ayant une épaisseur comprise entre 7 et 14 mm
Type IV	Utilisé pour des comparaisons directes entre deux matériaux présentant des caractéristiques de rigidité différentes
Type V	Choix utilisé pour des matériaux au coût élevé ou disponibles en petite quantité



(Millimètre)	Type I	Type II	Type III	Type IV	Type V
Epaisseur	≤ 7	≤ 7	7 - 14	≤ 4	≤ 4
Largeur totale	19	19	29	19	9.53
Largeur de jauge – section réduite	13	6	19	6	3.18
Longueur totale	165	183	246	115	63.5
Longueur – section réduite	57	57	57	33	9.53
Longueur de jauge	50	50	50	25	7.62

Difficultés d'impression

Lors des premiers tests d'impression, nous avons rencontré un problème. La contamination du fil recyclé peut boucher les buses des imprimantes (voir figure 13 buse bouchée). Les solutions retenues sont :

- Stockage des granulés dans un environnement protégé
- Augmentation du diamètre de buse des imprimantes 3D

Il a donc été décidé de changer les buses de trois imprimantes 3D, cela permet d'évacuer les copaux indésirables lors d'impression et de continuer l'utilisation de la machine sans problèmes.



Figure 13 Buse bouchée

Le deuxième problème vient du système bowden (ensemble moteur d'extrusion et tube flexible). Le fil recyclé varie régulièrement de diamètre et vient bloquer l'avancement du fil en frottant contre les parois du tube flexible. La solution retenue est simplement d'augmenter le diamètre de ce tube pour permettre de faire passer les imperfections du fil.

Les deux solutions citées précédemment m'ont permis d'utiliser les imprimantes 3D sans autres problèmes lors de l'impression des différentes éprouvettes.

Ces modifications ont été faites sur les imprimantes 1, 2 et 3 de la salle InProto.

Comparaison visuelle

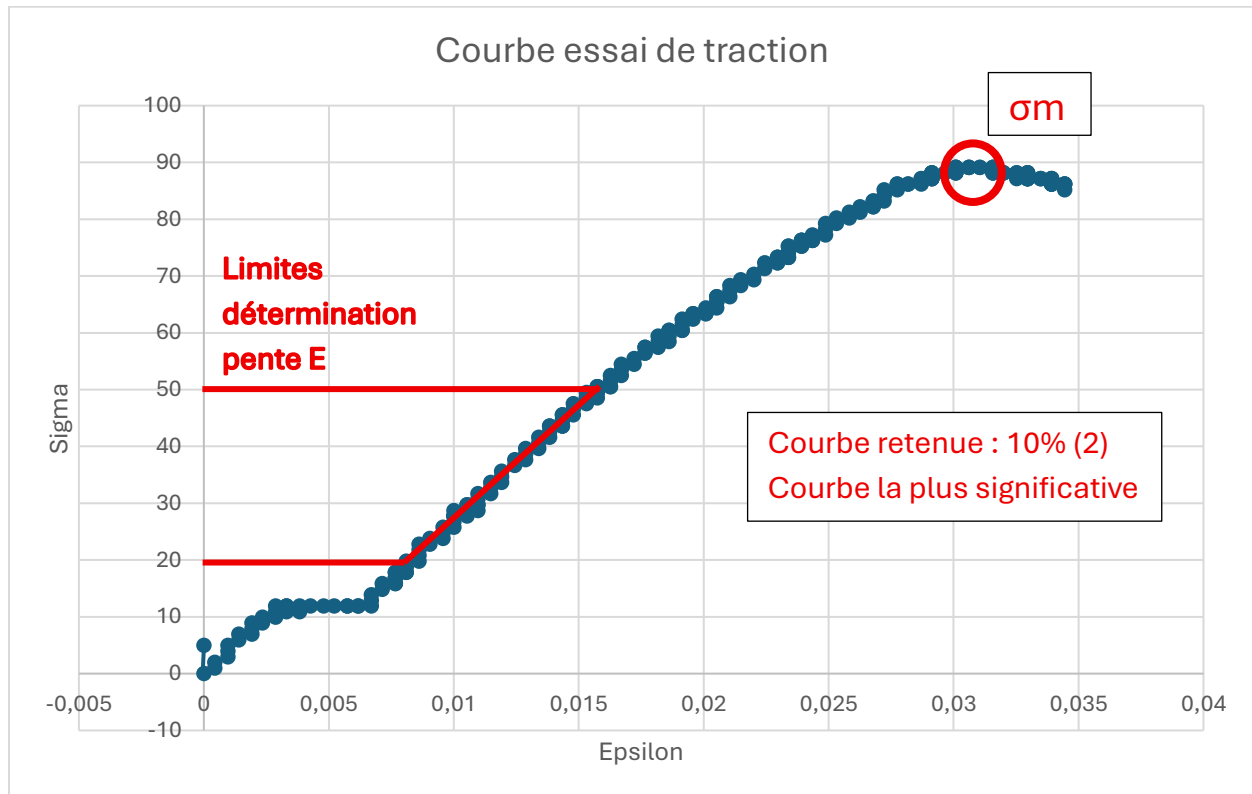
Pour la comparaison visuelle, une buse de 0,4 permet de faire des couches plus petites et permet donc d'éviter que les jonctions ne soient trop visibles (voir figure 14 Comparaison visuelle).



Figure 14 Comparaison visuelle

Résultats des différents essais de traction

1- Essais de traction des éprouvettes horizontales en PLA recyclé



La courbe ci-dessus a été obtenue lors d'un essai de traction sur une éprouvette normée avec un remplissage de 10%. On y retrouve σ_m (Sigma maxi), l'allongement et la pente du module de Young.

Pour Sigma Maxi nous avons le calcul : valeur/surface :

$$\sigma_m = \frac{3565,5}{40} = 89,1375 \text{ MPa}$$

Allongement à la rupture (A%) :

$$A\% = \left(\frac{3.96}{115} * 100 \right) = 3,4435 \%$$

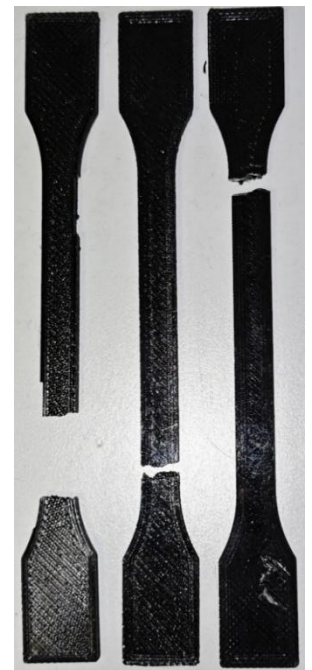
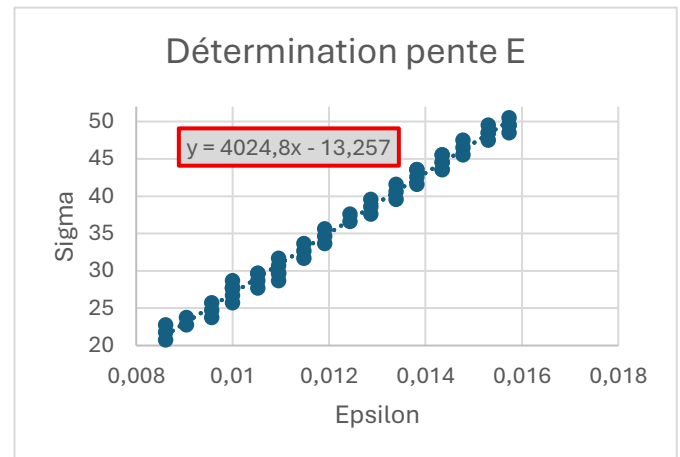


Figure 15 Epreuves remplissage 10%

Module de Young (E) :

Pour déterminer le module de Young, il nous faut isoler la partie « pente du domaine élastique ». C'est la partie de la courbe sur laquelle le comportement du matériau est linéaire et réversible.

Pour trouver la valeur du module de Young il existe une fonction Excel nommée « courbe de tendance » qui va utiliser la méthode des moindres carrés. Cela nous permet de tracer une droite idéale minimisant l'écart avec les points expérimentaux.



La pente nous donne : $4024,8 \cdot x - 13,257$

$4024,8 = \text{module de Young} / X = \text{Epsilon} / 13,257 = \text{ordonnée à l'origine}$

Remplissage	Recyclé	Eprouvette
10% (1)	σ_m : 52,49 MPa A% : 2,87 % E : 2962 MPa	
10% (2)	σ_m : 89,14 MPa A% : 3,44 % E : 4024 MPa	
10% (3)	σ_m : 66,36 MPa A% : 2,91 % E : 3138 Ma	
30%	σ_m : 86,17 Mpa A% : 3,35 % E : 3914 MPa	
50%	σ_m : 70,32 MPa A% : 2,91% E : 3359 MPa	
70% (1)	σ_m : 111,92 MPa A% : 2,91 % E : 5369 MPa	
70% (2)	σ_m : 113,9 MPa A% : 4,06 % E : 4949 MPa	
70% (3)	σ_m : 97,06 MPa A% : 3,25 % E : 4450 MPa	

σ_m en MPa

A% en %

E en MPa

2- Essai de traction des éprouvettes horizontale en PLA neuf

Remplissage	Neuf	Eprouvette
10% (1)	σ_m : 125 MPa A% : 4,35 % E : 4964 MPa	
10% (2)	σ_m : 129,74 MPa A% : 4,54 % E : 4856 MPa	
10% (3)	σ_m : 129,74 MPa A% : 4,1 % E : 5071 MPa	
30%	σ_m : 133,7 MPa A% : 3,91 % E : 5148 MPa	
50%	σ_m : 132,72 MPa A% : 4,06 % E : 5439 MPa	
70% (1)	σ_m : 129,74 MPa A% : 5,25 % E : 6156 MPa	
70% (2)	σ_m : 146,58 MPa A% : 4,54 % E : 5680 MPa	
70% (3)	σ_m : 139,54 MPa A% : 4,75 % E : 5869 MPa	

3- Essais de traction éprouvette verticale recyclée

Pour les éprouvettes verticales, le but était de vérifier les caractéristiques des éprouvettes dans toutes les directions. Cette idée vient du fait que l'impression 3D est supposée donner des caractéristiques anisotropiques (voir figure 16 Explication anisotropie) aux pièces imprimées.

Malheureusement, les conditions d'impression étaient trop défavorables pour imprimer des éprouvettes à la verticale avec les remplissages allant de 10 % à 50 %, celles-ci ne s'imprimaient pas ou avaient des défauts qui auraient rendu la comparaison impossible.

Les éprouvettes remplies à 70 % ont quand même été imprimées pour vérifier l'hypothèse de la délamination.

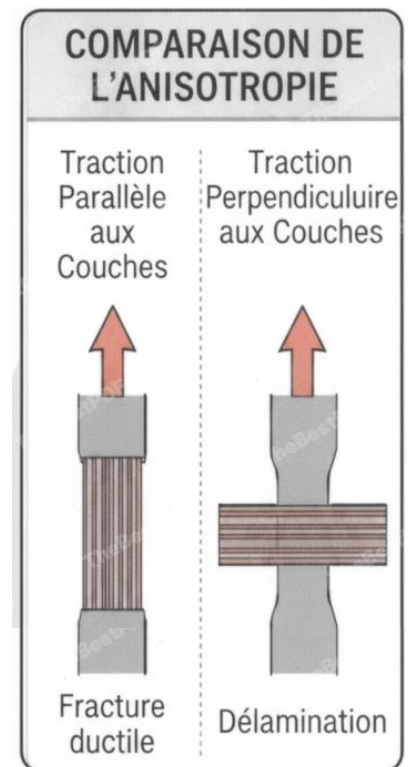
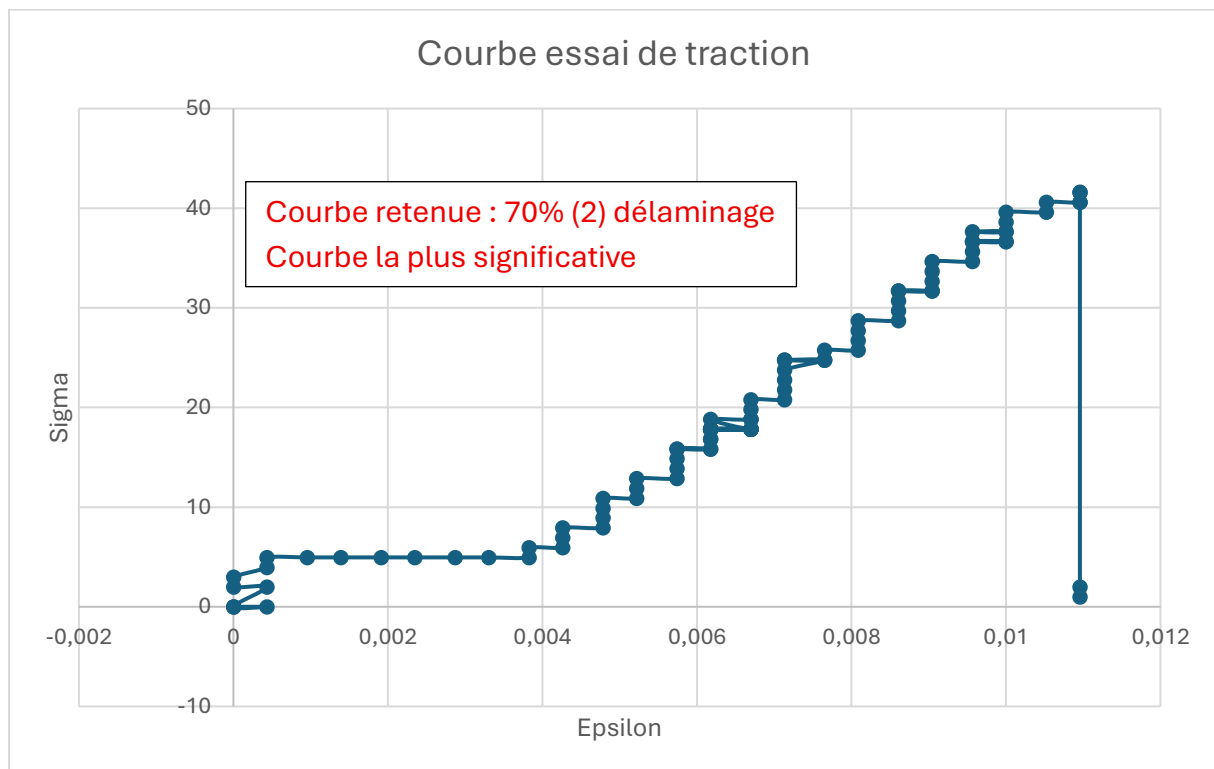


Figure 16 Explication anisotropie

a. Remplissage 70 % recyclé



Sigma max (σ_m) :

$$\sigma_m = \frac{1663,9}{40} = 41,6 \text{ MPa}$$

On peut observer deux choses sur cette courbe :

- Elle ne présente pas de domaine plastique
- Le sigma max est de 41,3 MPa

On peut donc en conclure que la pièce cède par délaminage due à sa rupture fragile et à son σ_m beaucoup plus faible que le reste des éprouvettes.

De ce fait, il n'est pas intéressant de comparer ces éprouvettes. Les résultats ne seraient pas utiles pour analyser les différences entre filament neuf et recyclé.

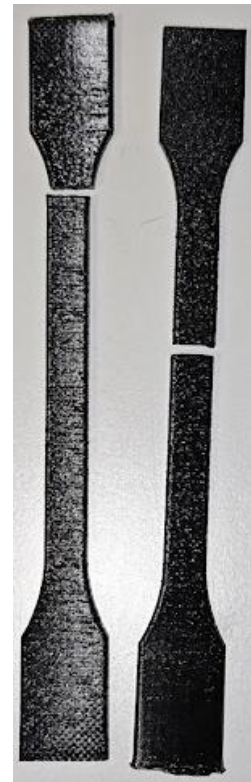


Figure 17 Epreuves
verticales remplissage 70%

Comparaison de résultats et conclusion :

Pour les éprouvettes à 10 % :

- σ_m : baisse d'environ 45 % pour le PLA recyclé
- E : baisse d'environ 32 % pour le PLA recyclé
- A% : baisse d'environ 29 % pour le PLA recyclé

Le PLA perd environ 40 % de sa résistance mécanique.

Pour les éprouvettes à 70 % :

- σ_m : baisse d'environ 22 % pour le PLA recyclé
- E : baisse d'environ 16 % pour le PLA recyclé
- A% : baisse d'environ 29 % pour le PLA recyclé

Le PLA perd environ 19 % de sa résistance mécanique.

On peut remarquer plusieurs points :

- La baisse de résistance du PLA recyclé peut être compensée par un remplissage plus important. Cela va venir réduire les défauts dus au fil et permettre de se rapprocher des valeurs d'un fil neuf.
- La différence d'allongement pourcent est restée stable tout au long des différents tests. Il n'est donc pas possible de faire varier ce paramètre avec le fil recyclé, le matériau perd définitivement une partie de son allongement.

Enfin, on peut en conclure que le PLA recyclé est adapté pour faire du prototypage rapide, permettre la validation d'un design ou la fabrication de pièce ne subissant pas d'effort. Il est également intéressant de programmer un remplissage à 70 % pour se rapprocher au maximum des caractéristiques classiques du matériau.

Mission 2 : Recyclage des matériaux

Evaluation des besoins

L'IUT aimerait avoir la possibilité de recycler les différents matériaux utilisés pour faire de l'impression 3D. Cela permettrait de réduire les coûts d'achat de bobines, de s'inscrire dans une démarche plus écologique et de donner plus de liberté aux étudiants sur le nombre d'impressions et la quantité de matière utilisable.

Pour le recyclage des matériaux, trois machines ont été mises à ma disposition (voir figure 19 machines de recyclage).

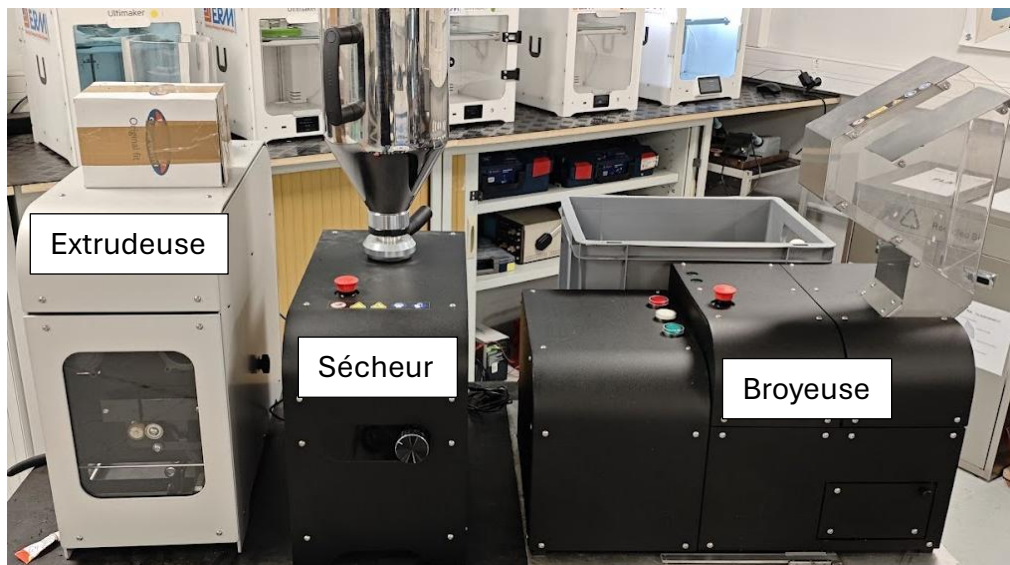


Figure 18 Machines de recyclage

Ainsi que de la matière première (voir figure 19 Poubelles de recyclage).

Le but de ce recyclage est de produire des bobines en PLA avec un diamètre de 2,85 mm $\pm 0,1$



Figure 19 Poubelles de recyclage

Machine nécessaire

La broyeuse qui permet d'obtenir des granulés (voir figure 20 broyeuse).

Pour plus d'informations sur la broyeuse aller voir l'annexe :

[3Devo Shredder](#)



Figure 20 Broyeuse

Le sécheur qui va permettre de faire s'évaporer l'humidité contenue dans les grains (voir figure 21 Sécheur). Enlever l'humidité va permettre, lors de l'extrusion, d'éviter le phénomène d'hydrolyse qui coupe les chaînes moléculaires et rend le matériau fragile.

Pour plus d'informations sur le sécheur aller voir l'annexe :

[Airid Dryer](#)



Figure 21 Sécheur

Enfin on retrouve l'extrudeuse qui va nous permettre de créer une bobine à partir des granulés séchés (voir figure 22 Extrudeuse).

Pour plus d'informations sur l'extrudeuse aller voir l'annexe :

[3Devo Composer](#)



Figure 22 Extrudeuse

Protocole et expérimentation pour la production d'une bobine

1- Broyage :

Pour commencer la production de fil, il faut broyer la matière première. Le but est d'en tirer des granulés de 4,5 mm ou moins afin de les faire passer dans l'extrudeuse.

Pour vérifier le diamètre de ces granulés, un tamis a été réalisé à l'aide de la découpeuse laser (voir figure 23 Tamis). Les trous font 4mm ce qui permet d'avoir une marge de sécurité supplémentaire.

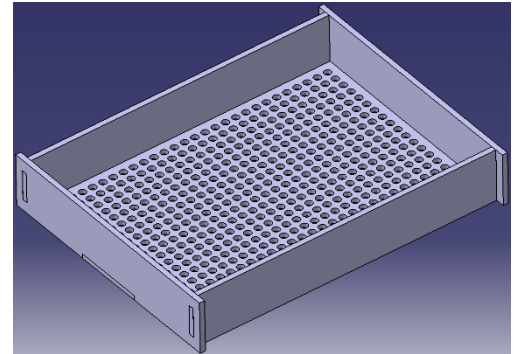


Figure 23 Tamis

Il faut parfois faire trois à quatre cycles de broyage pour avoir des granulés d'une taille satisfaisante.

Pour le PLA noir (voir figure 25 Granulés PLA noir), cela m'a permis de broyer environ 6 Kg de granulés.

Pour le PLA multicolore (voir figure 24 Granulés PLA multicolore), cela m'a permis de broyer environ 5 Kg de granulés.



Figure 24 Granulés PLA multicolore

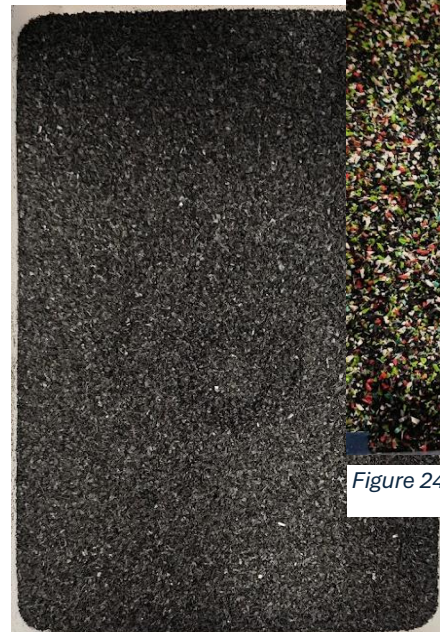


Figure 25 Granulés PLA noir

2- Séchage :

Pour le séchage, il faut s'assurer de maîtriser la quantité mise dans la trémie (1,2 ou 3 litres de granulés), la température et la durée de chauffe.

Il faut également prendre en compte la fin du séchage afin d'utiliser les granulés secs dès leur sortie de la machine. Cela leur évite de prendre à nouveau l'humidité.

Enfin, il faut passer une dernière fois ces granulés secs au tamis pour les séparer des agglomérats de matières qui ont pu se former lors du processus de séchage.

3- Extrudeuse :

Pour la partie extrudeuse, une fois les granulés versés dans la trémie, il faut connecter un ordinateur à la machine. Cela permet de récupérer les données comme la température, la vitesse des tireurs mais surtout le diamètre de fil (voir figure 26 Exemple courbe diamètre de fil).

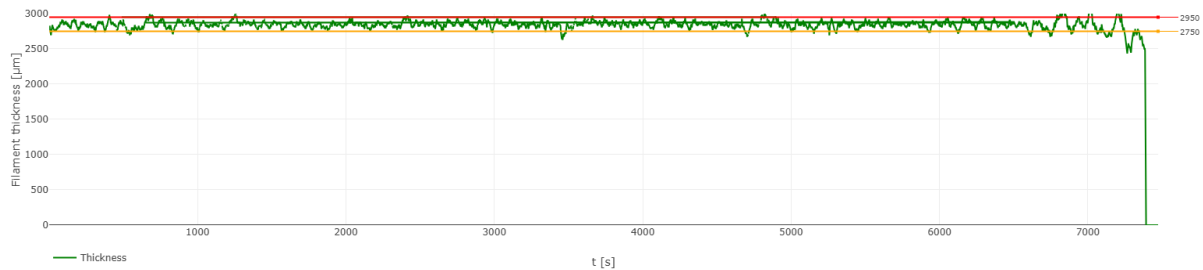


Figure 26 Exemple courbe diamètre de fil

Pour arriver à ce résultat, plusieurs méthodes ont été testées. Dans un premier temps, laisser les paramètres par défaut, le fil sort durant une courte période, environ 1000 mesures, puis le diamètre tombe petit à petit sans moyen de l'arrêter (voir figure 27 Exemple courbe premiers essais).



Figure 27 Exemple courbe premiers essais

Après plusieurs tests, il apparait clairement que les paramètres par défaut ne suffisent pas, c'est pourquoi une matrice de plan d'expérience a été mise en place. Les paramètres sont :

- T1 à T4 sont les points de chauffe de la machine
- V Bobine est la vitesse d'enroulement de la bobine
- V Vis sf est la vitesse de la vis sans fin
- Entrain fil est la vitesse d'entraînement du fil au niveau des tireurs
- Ventil est la vitesse (en pourcentage) des deux ventilateurs en sortie de buse

Le plan d'expérience va nous permettre de déterminer quels sont les paramètres les plus influents en faisant varier plusieurs facteurs en même temps nous permettant de gagner du temps tout en gardant une bonne fiabilité.

Valeurs des paramètres :

			Moy	$\pm\Delta$	
T1	->	X1	180	10	°C
T2	->	X2	190	20	°C
T3	->	X3	185	20	°C
T4	->	X4	170	10	°C
V Bobine	->	X5	2,1	0,4	RPM
V Vis sf	->	X6	7	1	PRM
Entrain fil	->	X7	90	20	
Ventil	->	X8	70	20	%

Matrice de criblage obtenue :

N° Exp	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
2	-1	1	1	-1	1	1	1	-1
3	1	-1	1	1	-1	1	1	1
4	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
5	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
6	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
7	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
8	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
9	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
10	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
11	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Le numéro d'expérience (colonne 1) permet de réaliser les tests dans un ordre aléatoire. L'objectif est d'éviter que la machine ne chauffe en continue et ne se stabilise, afin de garder l'impact de la variable thermique qui, si stabilisée, pourrait fausser les résultats.

N° Exp	Rand	T1	T2	T3	T4	V Bobine	V Vis sf	Entrain fil	Ventil
3	1	190	180	205	180	1.7	8	110	90
4	2	170	200	165	180	2.5	6	110	90
9	3	190	200	205	160	1.7	6	110	50
8	4	190	200	165	160	1.7	8	70	90
7	5	190	180	165	160	2.5	6	110	90
11	6	190	180	205	180	2.5	6	70	50
1	7	190	200	165	180	2.5	8	70	50
10	8	170	200	205	180	1.7	6	70	90
2	9	170	200	205	160	2.5	8	110	50
12	10	170	180	165	160	1.7	6	70	50
6	11	170	180	165	180	1.7	8	110	50
5	12	170	180	205	160	2.5	8	70	90

Enfin on retrouve la matrice de criblage avec les valeurs qui ont été remplacées :

Malheureusement, lors des premiers essais le fil est loin d'être constant. Laisser les mêmes paramètres constamment ne permet pas de s'adapter aux changements de diamètres d'enroulement de la bobine qui augmente au fil du temps, à la machine qui chauffe jusqu'à se stabiliser ou à d'autres variations liées au milieu extérieur.

On peut voir ce manque d'adaptation sur la courbe ci-dessous (voir figure 28 Courbe N°Exp 3) :

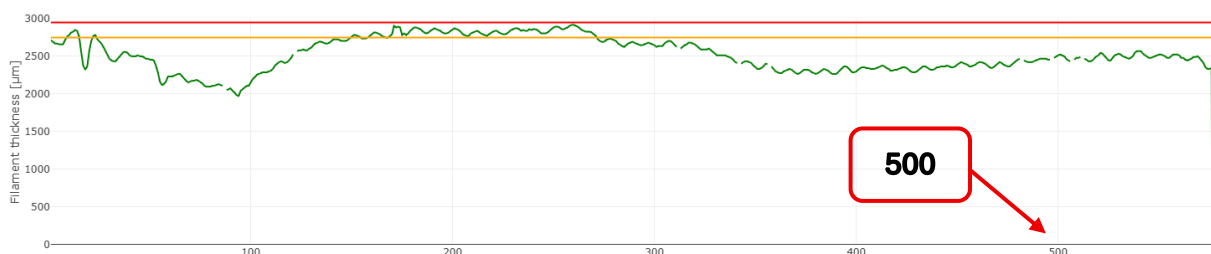


Figure 28 Courbe N°Exp 3

Nous en avons conclu que le plan d'expérience dans le cas de l'extrudeuse n'était pas la bonne solution.

Lors des essais en mode automatique et pour le plan d'expérience, le milieu extérieur semblait impacter la machine, principalement sur la durée. La question d'avoir une température extérieure contrôlée s'est donc posée.

Pour ce troisième essai, nous avons remis la machine sur le mode automatique mais cette fois-ci, les machines ont été installées dans la salle InProto comprenant deux climatisations. Avec une température qui se maintient à 24°C, la production de fil a été relancée.



Figure 29 Courbe 1 milieu contrôlé



Figure 30 Courbe 2 milieu contrôlé

Sur les deux courbes vues ci-dessus (voir figure 29 Courbe 1 milieu contrôlé et figure 30 Courbe 2 milieu contrôlé), on peut voir que 7000 mesures ont été réalisées par la machine. On peut donc conclure que la machine a besoin d'un milieu avec une température contrôlée. De plus, le mode automatique permet de corriger les défauts dès que le capteur optique transmet les données de diamètre du fil.

Quantité de fil produit

Les valeurs sont exprimées en grammes.

Pour la quantité de fil produit nous avons :

(Voir Figure 31 poids bobines)

Cela correspond à 5515g de fil et 7,35 bobines neuves.

Cela représente un peu plus de 300 € d'économisés.

N° bobine	bobine pleine	fil uniquement
1	423	197
2	477	251
3	366	140
4	382	156
5	313	87
6	417	191
7	476	250
8	526	300
9	482	256
10	516	290
11	665	439
12	472	246

Figure 31 Poids bobines

On peut également noter que les bobines n'ont pas toutes les mêmes quantités de fil (voir figure 32 Bobines PLA recyclées), il est important de choisir les petites bobines lors de petites impressions.



Figure 32 Bobines PLA recyclé

Mission 3 : Recyclage du PET

Evaluation des besoins

L'IUT cherche également d'autres moyens d'obtenir du fil pour les imprimantes 3D. Leur attention s'est portée sur le PET qui est une matière trouvable sur de nombreuses bouteilles, couvercles ou autre objet du quotidien.

Il serait ainsi possible de produire notre propre fil tout en recyclant les déchets produits dans le GMP.



Figure 33 Logo recyclage PET

Expérimentation production de PET

Dans un premier temps, il faut nettoyer tout le PET disponible pour éviter la contamination due au papier ou à la colle utilisée pour les étiquettes. Lors de cette opération, un premier découpage des bouteilles a été nécessaire.

Une fois les bouteilles lavées, il faut les broyer. Il n'y a eu aucune difficulté particulière lors de cette étape.

Pour le séchage, il est important de se référer aux abaques sur le site de DevoVision. Le site conseille une température de 140 °C durant 4h. Maintenir cette température durant une période prolongée permet d'évacuer l'humidité au cœur des granulés.

Nous avons ensuite l'extrudeuse, plusieurs problèmes ont été rencontrés :

- Les granulés de PET sont plutôt compacts et ont une tendance à se bloquer avant de passer dans le système de la vis sans fin. Il faut donc être présent tout au long de l'extrusion pour vérifier l'apport en PET.
- Lors des différents essais de température le filament peut être trop froid au niveau de la sortie de buse ce qui vient boucher cette buse ou créer des points d'accumulation (voir figure 34 Filament froid).

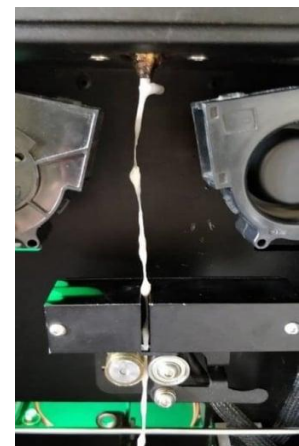


Figure 34 Filament froid

- Une température trop importante va rendre le fil impossible à extruder correctement en le faisant couler plus rapidement que les tireurs ne tournent (voir figure 35 Température trop importante). Il est également possible que le fil finisse par brûler si la température est vraiment trop importante. Il est alors très long de réussir à extraire ce fil de la machine (voir figure 36 Fil brûlé).



Figure 35 Fil brûlé

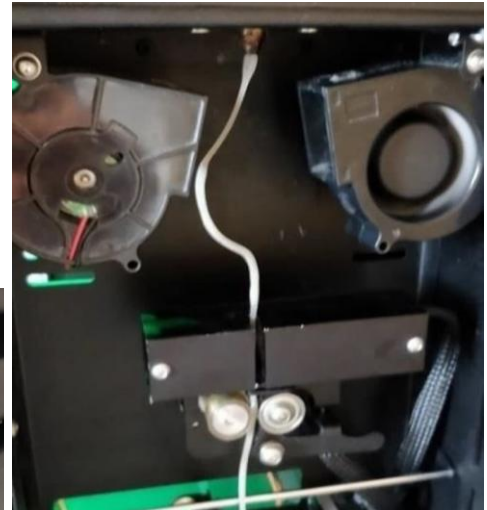


Figure 36 Température trop importante

Pour les températures d'essais, 240°C semble trop bas, le fil ne sort pas.

Une température qui dépasserait 275°C fait brûler le PET.

Une température correcte semble être 265°C (voir figure Température extrusion PLA).

A cette température, le fil est constant mais les ventilateurs finissent par créer des points trop froids au niveau de la buse.



Figure 37 Températures extrusion PLA

Il serait donc intéressant de faire de nouveaux essais en augmentant uniquement la température de la buse 1 ou de diminuer la vitesse des ventilateurs.

Il est possible de transformer le PET en PETG mais cela ne semble pas être rentable pour l'IUT. Le glycol permettrait de rendre le matériau moins cassant mais il faudrait passer par une dépolymérisation du PET et repolymérisation sous vide à haute température (190-260°C).

N'ayant pas réussi à réaliser une bobine, je n'ai pas pu vérifier la résistance mécanique du PET recyclé.

3.4 – Bilan de l'étude : conclusion technique

On peut conclure que le PLA est bel et bien recyclable. Malgré une perte dans les caractéristiques mécaniques et la modification de la buse des impressions 3D, le PLA recyclé permet de faire du prototypage rapide et des impressions n'ayant pas besoin de résistance mécaniques.

Il serait intéressant de rajouter des éléments d'addition dans les granulés lors de la production de bobine pour observer s'il est possible de pallier la baisse des caractéristiques pour les rendre plus intéressantes pour nos différentes utilisations.

Il est également possible de produire des bobines facilement grâce aux machines disponibles à l'IUT. Les différents tests effectués permettent de mettre en évidence l'importance d'une température contrôlée qui permet d'améliorer grandement la régularité du filament lors de longues productions de fil.

Enfin, pour le PET, les premiers résultats semblent confirmer la faisabilité de son recyclage. Cependant la quantité de matière disponible ne permet pas de mener les essais plus loin pour le moment.

4 – Rapport PPP

4.1 – Description d'un métier de l'entreprise

Dans l'entreprise, j'ai choisi de demander à Monsieur BOUDERLIQUE Florent de me parler de son expérience en entreprise. Il m'a expliqué en quoi consiste son travail, les compétences nécessaires, acquises et d'autres informations utiles pour mieux comprendre son rôle.

Avec un bac pro, un BEP et un BTS IPM (industrialisation des produits mécaniques) Mr. BOUDERLIQUE est technicien à l'IUT d'Aix en Provence, il y travaille depuis septembre 2012.

Son rôle est assez polyvalent, il va s'occuper de la maintenance des machines (préventive/curative), la préparation de TP (brut, programmation machine...) et des devis de l'atelier au quotidien.

Pour les taches plus rares, on retrouve :

- L'usinage, conventionnel, commande numérique, soudage, pliage et impression 3D
- Vacataire avec des cours sur la découpe laser et les impressions 3D
- Encadrement de stagiaires

Avec toutes ces responsabilités, Mr. BOUDERLIQUE a gagné en qualification, il entre à l'IUT en 2012 en tant que technicien réalisation mécanique de catégorie B. Il passe un concours en 2020 pour passer en catégorie B sup et en 2024 il devient assistant ingénieur en réalisation mécanique ce qui le place dans la catégorie A.

4.2 – Ce que m'a apporté ce stage

Ce stage m'a permis de mieux comprendre le travail des chercheurs. Ils allient théories et pratique pour répondre à un besoin. Sur le plan professionnel, cela m'a beaucoup enrichi sur ma vision des métiers de l'ingénierie. Mon projet principal s'oriente toujours vers le bureau d'études mais une nouvelle possibilité est envisageable.

5 – Conclusion générale et personnelle

Ce stage de 10 semaines dans l'IUT représente une expérience enrichissante, tant sur le plan professionnel que personnel. Intégrer un laboratoire de recherche m'a permis de développer mon autonomie et mon esprit critique. Cette expérience m'a également permis de renforcer mes compétences en élaboration et en application de protocoles de tests.

La mission principale m'a permis de mettre en pratique des compétences vues au cours de ma formation GMP tout en nécessitant de la rigueur scientifique. Lors des différents tests j'ai appris à utiliser une nouvelle machine de traction et les différentes normes autour des éprouvettes.

Les différentes parties de mon sujet m'ont permis de changer régulièrement de problématique ce qui permet de ne pas rester dans un environnement de travail monotone.

Sur le plan humain, le stage m'a fait découvrir le fonctionnement d'un laboratoire et m'a permis d'échanger avec des professionnels. J'ai également apprécié apporter ma contribution dans un projet qui sera utile à d'autres étudiants.

Enfin, sur le plan personnel, cette expérience m'a conforté dans mon choix d'études. J'ai également découvert un intérêt pour la recherche et les impressions 3D.

Glossaire

GMP : Génie Mécanique et Productique

IUT : Institut Universitaire de Technologie

ISM : Institut des sciences et du mouvement

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

FDM : Fused Deposition Modeling

SBI : Systèmes Bio Inspirés

PLA : PolyLactic Acid

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styrène

PET : Polyéthylène Téréphtalate

PETG : Polyethylene Terephtalate Glycole-modified

TPU : Thermoplastic Polyurethane

Webographie

Machines 3Devo :

[\(2089\) 3devo - YouTube](#)

[Machines - InProto](#)

[Machine features : shredder SHR3D IT](#)

[SHR3D IT Shredder & Recycler Features and Functions 3devo](#)

[SHR3D-IT-Quick-Start-Guide.pdf](#)

Modélisation des éprouvettes :

Norme Française :

[ISO 527-2 | Instron](#)

[Essai de traction Plastique ISO 527-1 | ISO 527-2 | ZwickRoell](#)

Norme Américaine :

[ASTM D638 : Propriétés de traction Plastique | ZwickRoell](#)

[ASTM D638 Propriétés en traction des plastiques | Instron](#)

Extrusion PET :

[Recycling PET bottles into filament: shredding and extrusion walkthrough](#)

[Extrusion reports](#)

Autre :

[Bambu Lab Sertleştirilmiş Çelik Hotend 0.8mm Nozzle - X1 & Fiyatı](#)

[Recyclage du PLA : Guide complet pour réduire les déchets – Fabricant professionnel de vis et de cylindres](#)

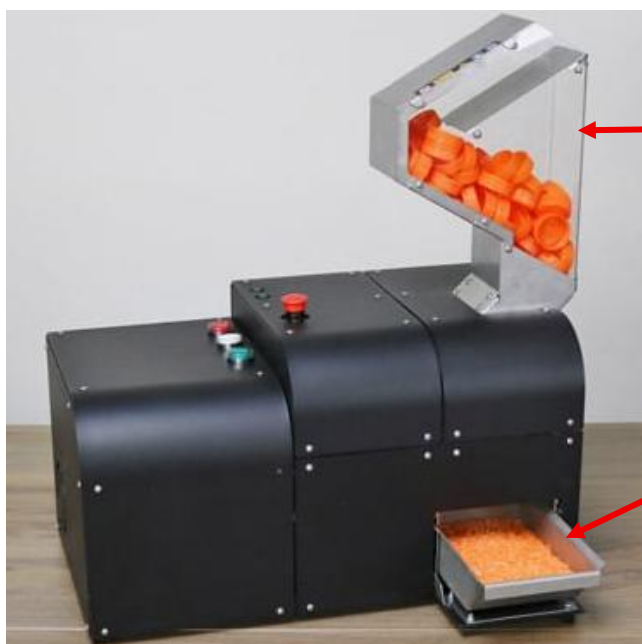
Annexes

3Devo Shredder :

Présentation de la machine :

Pour les différents indicateurs nous avons,

- Emergency stop : permet d'arrêter en urgence le système
- Start : permet de démarrer le broyeur
- Reverse : permet de faire tourner le broyeur dans le sens inverse (à utiliser en cas de blocage).
- Stop : permet d'arrêter le broyage
- High temperature indicator : voyant permettant de détecter une surchauffe
- Current indicator : voyant permettant de détecter une surtension

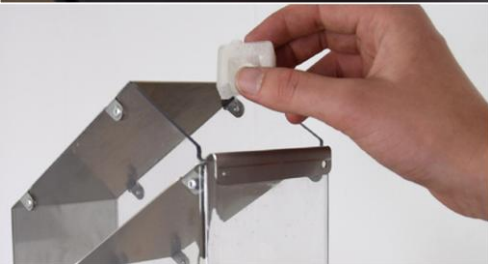


Stockage des éléments à broyer et protection anti-retour

Bac de récupération des granules

Utilisation de la machine :

Pour utiliser la machine, il faut suivre plusieurs étapes :

1. Abaisser le levier de verrouillage et glisser la trémie à l'intérieur, relâcher ensuite le levier pour la bloquer en position		
2. S'assurer que le réservoir est présent et que la trappe soit bien fermée		
3. Vérifier que l'alimentation soit connectée et actionner l'interrupteur principal situé à l'arrière de la machine		
4. Vérifier que les deux voyants verts soient allumés		
5. Pour faire fonctionner le broyeur, maintenir une pression pendant 1 seconde sur le bouton vert		
6. Introduire les pièces en plastique et attendre qu'elles soient transformées en granulés		

7. Appuyer sur le bouton rouge pour arrêter la machine		
8. Ouvrir la trappe et récupérer le contenu		

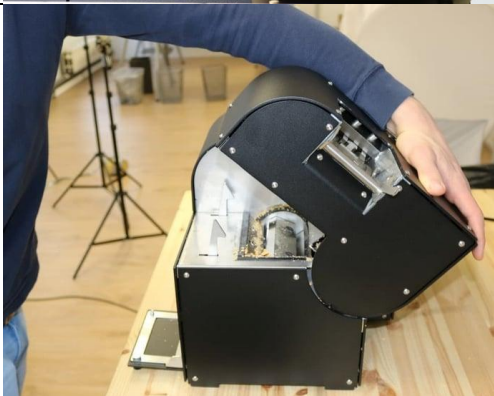
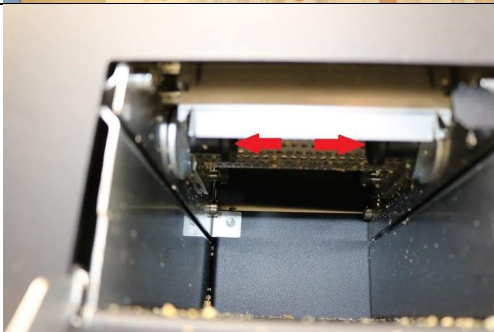
Nettoyage de la machine :

Consignes de sécurité :

- Ne jamais mettre les mains près du broyeur lorsque le courant n'est pas coupé
- Ne jamais nettoyer la machine tant que le courant n'est pas coupé
- S'équiper de gants de protection afin de nettoyer les lames de la broyeuse

1. Attendre que la machine ait fini de broyer les derniers morceaux		
2. Inverser la rotation de la machine pour s'assurer qu'un maximum de débris soient sortis du système		
3. Une fois que les derniers débris ont été évacués, débrancher la machine pour travailler en sécurité		

4. Il faut ensuite retirer la trémie pour pouvoir la nettoyer et accéder à la partie supérieure du broyeur	
5. Aspirer les débris	
6. Enlever les débris collés à l'aide d'un outil pointu Rallumer la machine en remettant toutes les sécurités afin de faire tourner la broyeuse et nettoyer toutes les dents	
7. Nettoyer le collecteur de granulés	
8. Nettoyer le compartiment du collecteur de granulés	

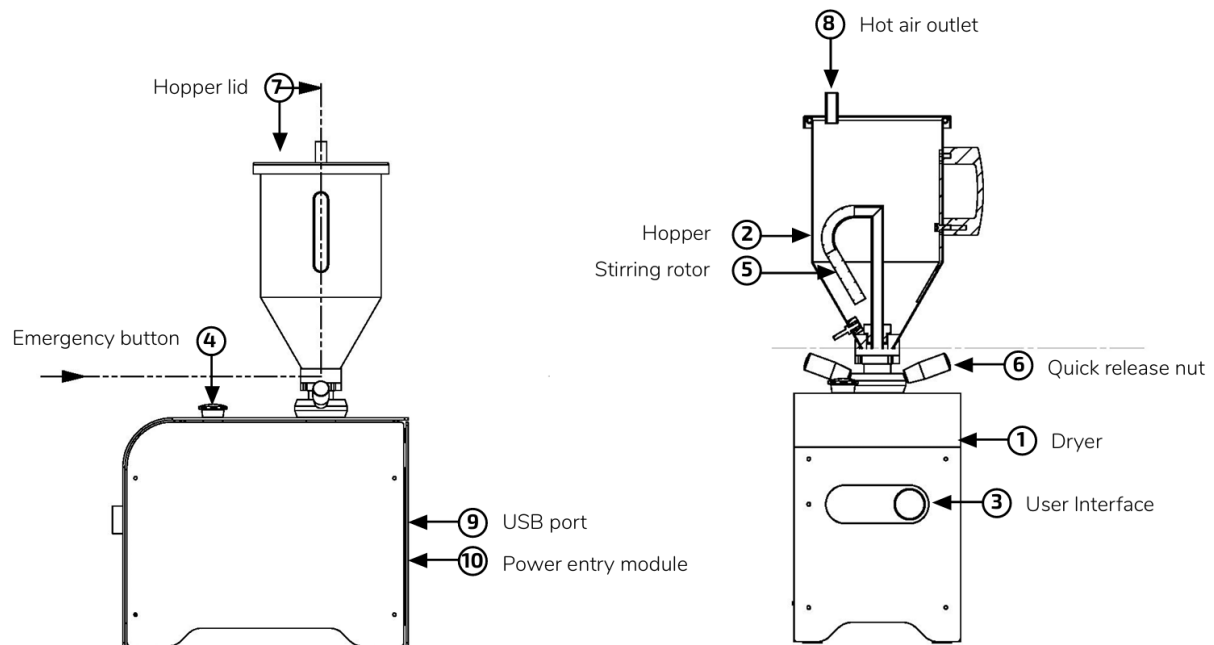
9. Ouvrir le capot de la machine à l'aide du levier visible sur la photo	
10. Tout en appuyant sur le levier à l'intérieur, soulever le capot de la machine	
11. Retirer le filtre à l'aide des deux tirettes à droite et à gauche du système	
12. Retirer entièrement le filtre pour le nettoyer	
13. Il est maintenant possible de nettoyer l'intérieur du système	

Une fois toutes les étapes réalisées, il est maintenant possible de remonter la machine.

Ne pas oublier : Ne pas laisser d'outil dans la machine
 Replacer le filtre à son emplacement
 Replacer le récupérateur de granulés

Airid Dryer :

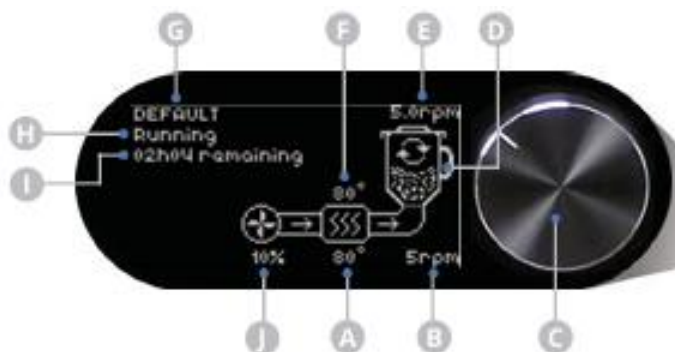
Présentation de la machine



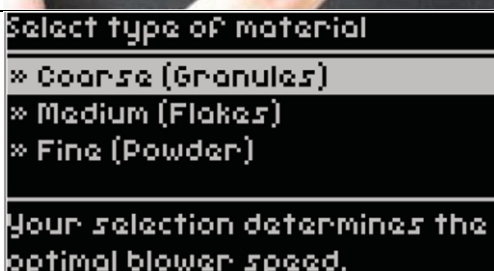
- 1- Dryer : Le séchoir permet de sécher les matériaux polymère (granulés, broyats, poudres). Cela est possible grâce aux composants suivants :
- 2- Hopper : La trémie permet à l'utilisateur de ne pas rentrer en contact avec le plastique chaud et évite que le plastique ne s'échappe de la machine
- 3- User interface : Permet à l'utilisateur de naviguer dans les menus du séchoir à l'aide d'une molette ronde.
- 4- Emergency button : Coupe toute l'alimentation de la machine.
- 5- Stirring rotor : Le rotor d'agitation assure une répartition uniforme de l'air et maintient les plastiques en agitation permettant d'éviter les formations d'agglomérats.

- 6- Quick release nut : L'écrou de verrouillage permet de verrouiller et déverrouiller la trémie.
- 7- Hopper lid : Le couvercle permet le maintien de la température à l'intérieur et de protéger le rotor d'agitation et l'utilisateur.
- 8- Hot air outlet : La sortie d'air permet d'évacuer la condensation et de connecter un système d'aspiration d'air.
- 9- USB port : Permet de connecter un ordinateur pour récupérer les données ou de vérifier les mises à jour de la machine.
- 10- Power entry module : Permet d'alimenter la machine.

Utilisation de la machine



- A. Réglage de la température de séchage
- B. Réglage de la vitesse de rotation du mixer
- C. Bouton de contrôle / réglage
- D. Etat de la trémie
- E. Vitesse de rotation mesurée
- F. Température actuelle
- G. Préréglage de la matière
- H. Statut (on/off)
- I. Temps restant
- J. Vitesse du ventilateur

1. Brancher le câble d'alimentation, vérifier l'interrupteur et le bouton d'arrêt d'urgence		
2. Placer la trémie sur le sécheur à l'aide des manettes, vérifier que l'écrou soit bien serré		
3. Accéder au menu principal de l'écran en appuyant une fois sur la molette		
4. Déplacer la sélection vers « material preset », choisir le bon matériau et appliquer la sélection avec « apply »		
5. Verser les granulés dans la trémie et fermer le couvercle		
6. Pour lancer le séchage, sélectionner « start drying » dans le menu principal		
7. Sélectionner la forme des matériaux utilisés		

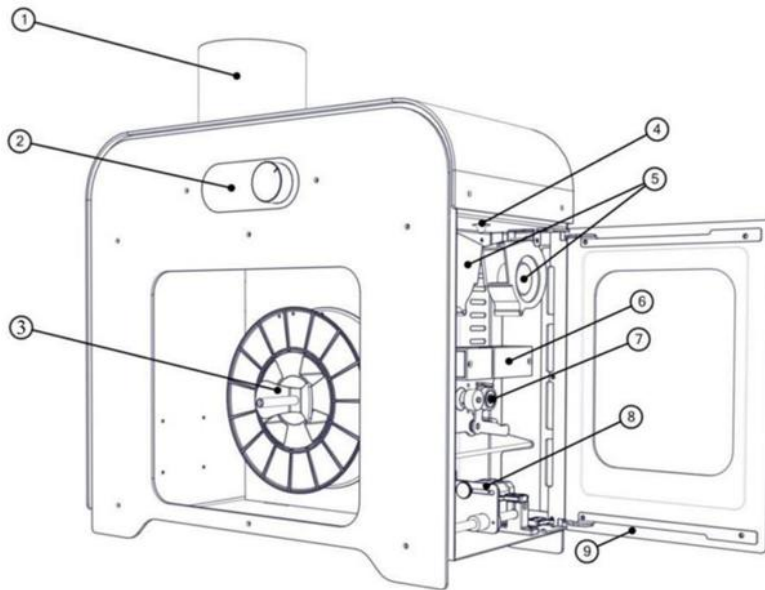
8. Sélectionner la quantité	Select amount of material * Hopper 25% Full (~ 1 liter) * Hopper 50% Full (~ 2 liter) * Hopper 75% Full (~ 3 liter) Your selection determines the optimal blower speed.	
9. Ne pas ouvrir le couvercle de la trémie durant le séchage		
10. Une fois le programme terminé, desserrer l'écrou de fixation, faire attention aux surfaces chaudes		
11. Toujours en faisant attention aux surfaces chaudes, verser les granulés dans un récipient		

Nettoyage de la machine

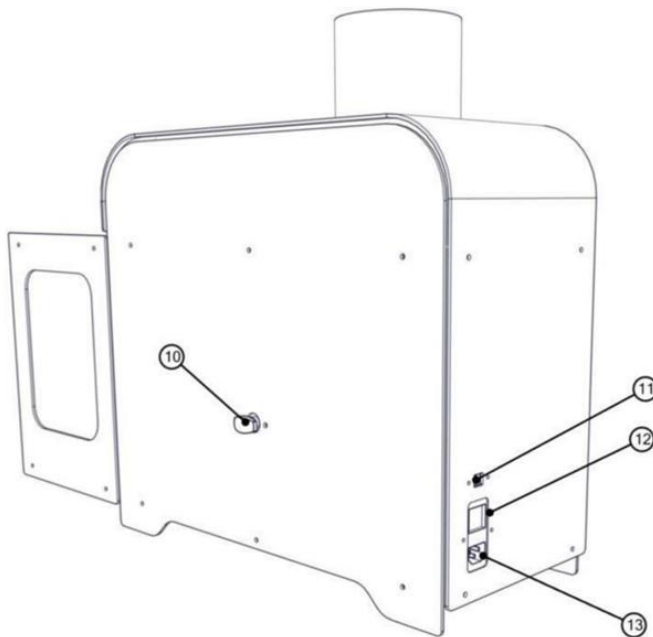
1. Mise hors tension de la machine
2. Porter ses EPI
3. Manipuler avec précaution car les éléments peuvent être chauds
4. Desserrer l'écrou à l'aide de la poignée
5. Retirer le maximum de matériaux de la trémie à l'aide d'un pinceau (attention à la chaleur)
6. Aspirer les débris restants
7. Le nettoyage du rotor est une étape très importante, tout résidu peut provoquer un colmatage au niveau du conduit qui pourrait endommager la machine
8. Remonter la trémie en s'assurant que le système d'embrayage est bien connecté puis serrer fermement l'écrou

3Devo Composer :

Présentation de la machine



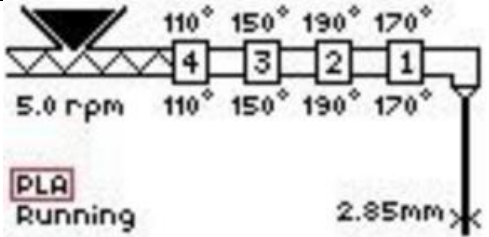
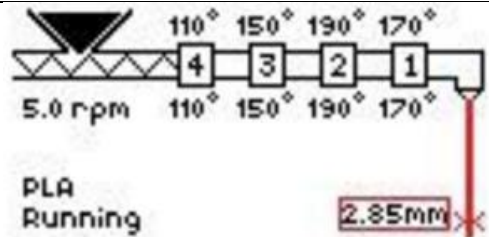
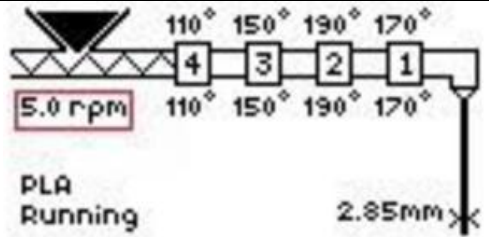
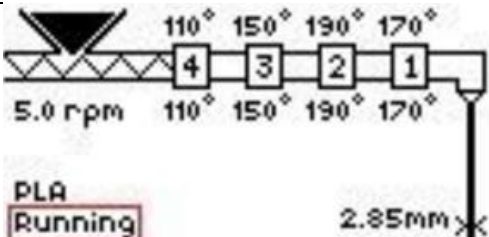
- 1- Trémie : La trémie permet de stocker la matière avant qu'elle ne soit entraînée vers la vis d'extrusion
- 2- Interface utilisateur : Permet de paramétrer la machine
- 3- Support de bobine : Maintient la bobine en place pour l'enroulement automatique
- 4- Buse : Permet de donner sa forme au fil
- 5- Ventilateurs de refroidissement : Permet de refroidir le filament à la sortie de la buse
- 6- Capteur de diamètre optique : Mesure le diamètre du fil en continu pour assurer un diamètre régulier
- 7- Tireur : Système d'entraînement du fil permettant de contrôler la vitesse
- 8- Positionneur : Guide le filament lors de l'enroulement de la bobine
- 9- Porte : Protège l'utilisateur et permet de maintenir une température stable durant l'extrusion



- 10- Embrayage de l'enrouleur : Permet d'ajuster la tension de l'enrouleur sur la bobine
- 11- Port USB : Permet de connecter son ordinateur et de récupérer les données
- 12- Interrupteur d'alimentation : Bouton marche/arrêt
- 13- Prise d'alimentation : Câble secteur

Utilisation de la machine

1. La partie en rouge représente la trémie. Quand les granulés sont insérés dans la machine un capteur va les détecter. Le capteur détecte uniquement la présence et non la quantité.	PLA Running 2.85mm
2. ATTENTION, même si le capteur ne détecte plus de granulés, la machine continue de fonctionner.	PLA 2.85mm Idle 0.00mm
3. Les parties encadrées représentent la température des différentes buses de la machine en haut et la température cible en bas.	PLA Running 2.85mm

4. La partie encadrée représente le matériau sélectionné	
5. La partie en rouge représente le diamètre du fil en millimètres	
6. On retrouve ici les tours minute de la vis	
7. On voit ici le statut de la machine (en fonctionnement/arrêt)	

Avant de mettre les granulés dans la machine, il faut vérifier quel type de matériau est activé dans les paramètres de la machine. Pour faire cela, il faut se rendre dans le menu principal, puis « material preset ».

Main menu

Start extrusion
Settings
Material presets
Spooling
About this machine
Back

Si les paramètres correspondent bien, il faut maintenant charger les granulés dans la trémie.

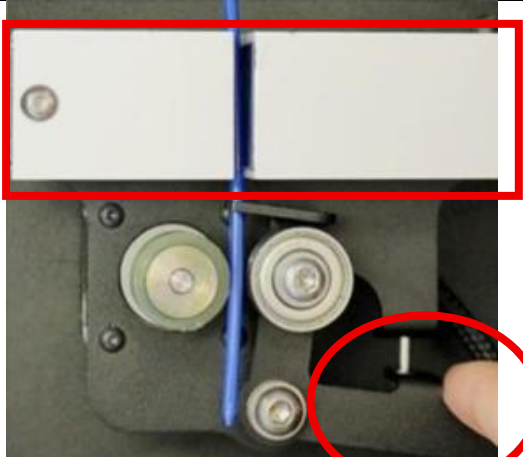
Commencer par placer le tube au niveau de la trémie.



Charger les granulés dans la trémie. - ATTENTION, le tube peut être enlevé facilement et renverser les granulés - Les granulés ne doivent pas être plus larges que 4,5 mm	
Une fois le grain chargé, il faut installer la bobine en la mettant sur le support	
Puis la mettre dans la machine en s'assurant qu'elle soit bien à son emplacement	

Il faut ensuite commencer l'extrusion. Sur le menu principal, cliquez sur « Start extrusion » puis « Automatically » ce qui va lancer l'extrusion dès que les buses ont atteint la bonne température.

Il faut ensuite faire descendre doucement le filament qui sort de la buse ATTENTION le fil qui sort, même refroidi par les ventilateurs placés à droite et à gauche reste chaud	
--	--

Il faut ensuite faire passer le câble au niveau du capteur optique (rectangle rouge) Puis dans les tireurs en appuyant sur le levier entouré en rouge pour écarter les deux roues	
Laisser le fil se dérouler le temps que le diamètre se stabilise tout en surveillant que le fil ne sorte pas de son emplacement	
Une fois que le diamètre du fil est stabilisé il faut le couper et l'amener jusqu'à la bobine	
Bloquer le fil dans la bobine	
Régler l'embrayage pour appliquer une force suffisante lors de l'enroulement de la bobine	

Une fois que le fil est installé, il faut rapidement appuyer sur l'option « Start spooling » qui va lancer le mouvement de rotation pour enrouler le câble.

```
Spooling
-----
* Filament length:      15m
* Filament volume:     121cm3
Start spooling
Positioner settings
Advanced
Back
```

Nettoyage de la machine

Purge de l'extrudeur :

Préparatifs :

- 350g de matériaux de purge
- EPI
- Configuration de la machine :
 - o Désactiver le capteur de trémie
 - o Désactiver les ventilateurs
 - o Protéger le capteur de filament pour éviter de le contaminer avec le matériau de purge

Procédure :

- Vider la trémie en la faisant tourner, attention à ne pas la laisser tourner plus de 3 minutes pour éviter de l'endommager.
- Commencer par verser environ 60g de matériau de purge en laissant les mêmes températures si elles sont compatibles.
- Attendre que la machine ait fini de traiter les 60g (environ 15 minutes)
- Ajouter 200 à 250g du matériau de purge
- Observer le filament, celui-ci doit avoir un aspect « mousseux » et être exempt de toute trace de couleur ou point noir (résidus brûlés)
- Image montrant la couleur souhaitée du fil (voir figure 34 Nettoyage extrudeuse)



Figure 38 Nettoyage extrudeuse

Les différents filaments disponibles sont :

Nom	Capacité de purge	Echelle de température	Laisser dans le système après refroidissement	Quand l'utiliser
3Devo HDPE	Moyenne	180-280	Oui	Nettoyer les résidus les moins tenaces
DevoClean MidTemp	Haute	200-300	Oui	-composites -peut être utilisé pour « déboucher » en cas de blocage
DevoClean HighTemp	Très haute	290-400	Non	-purger à de plus hautes températures -ATTENTION, utiliser le MidTemp pour nettoyer après utilisation

Organigramme agrandi :

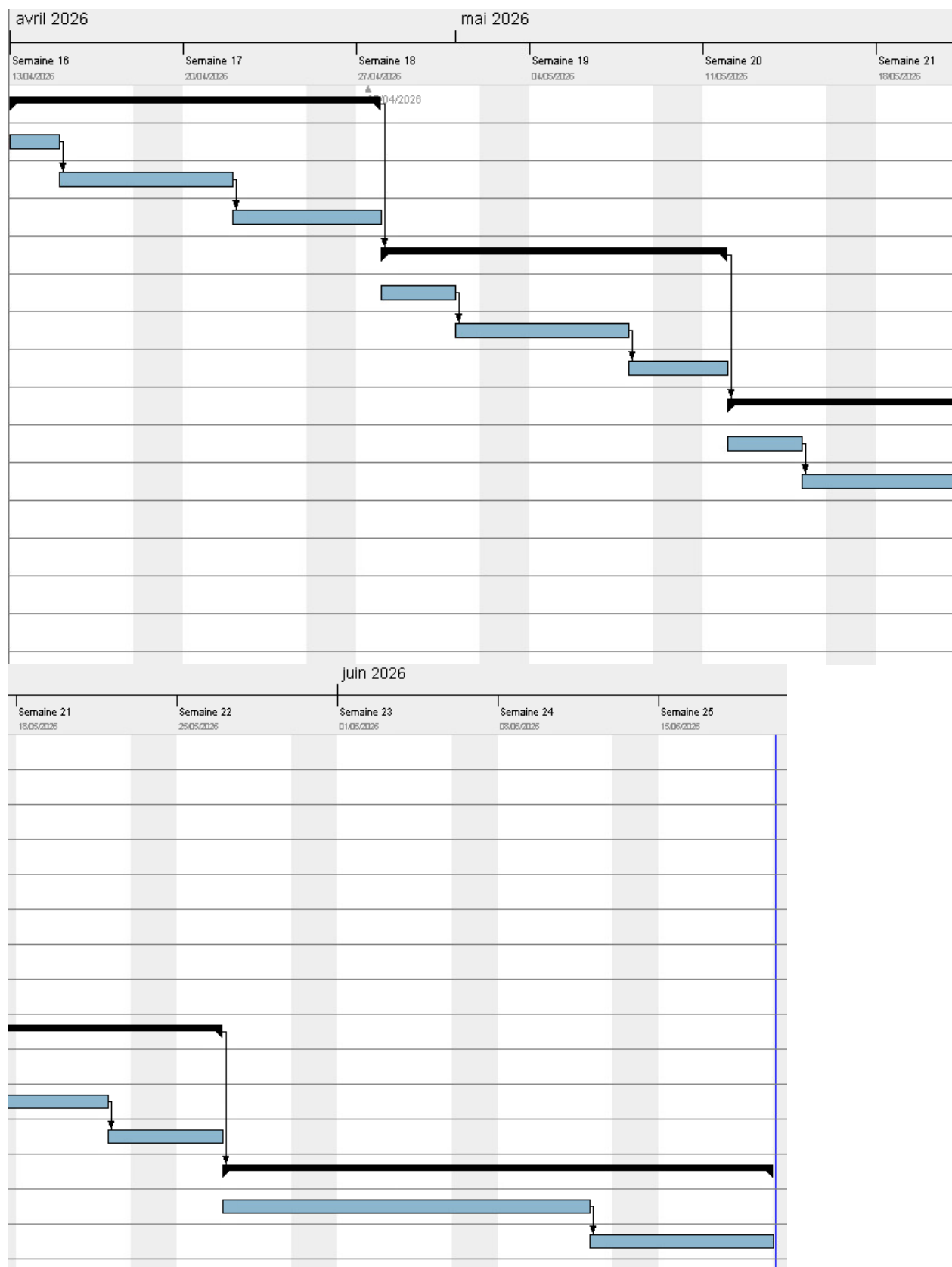
[Lien présentation du service](#)



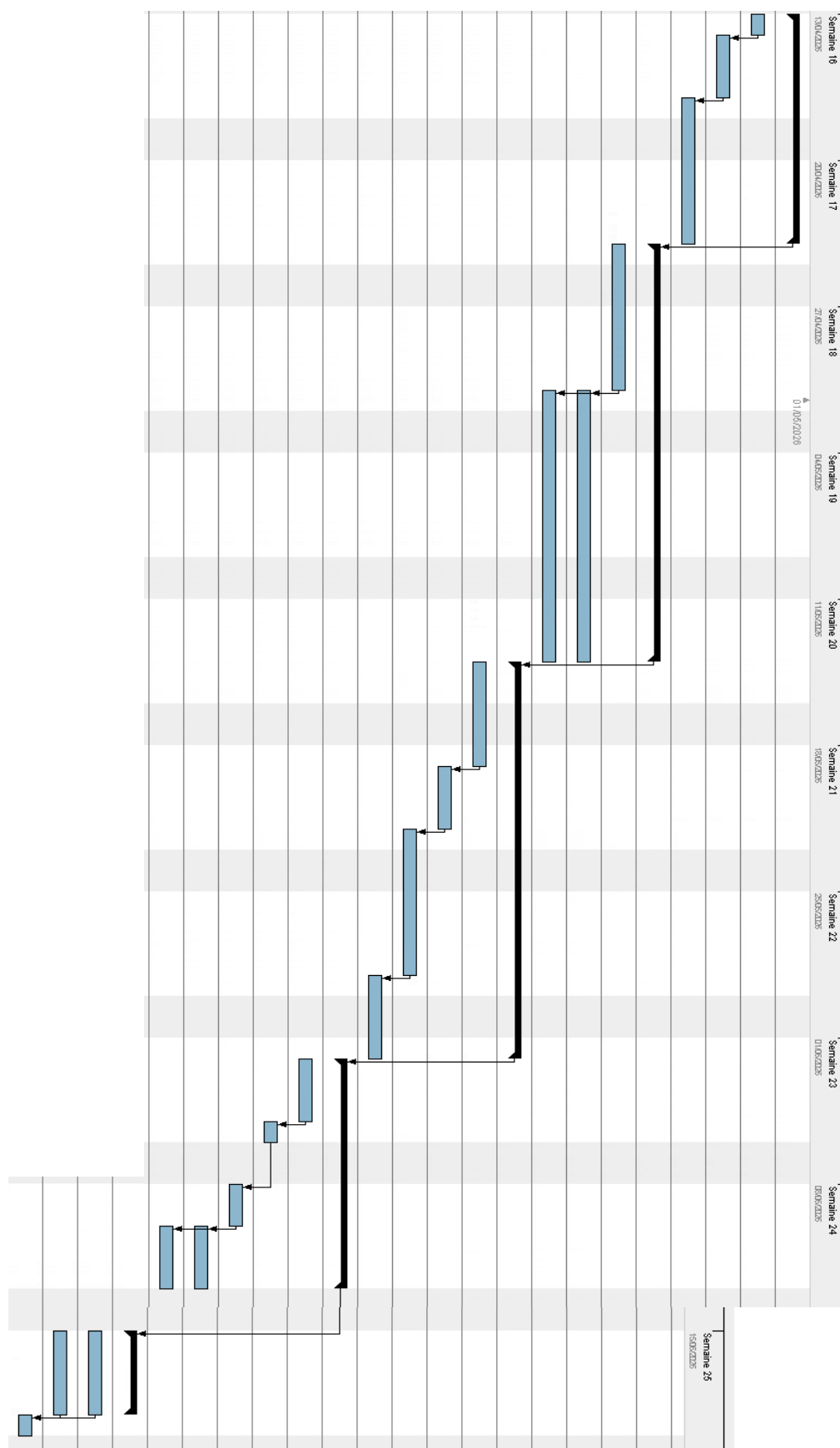
Mis à jour le 16 avril 2026

Diagramme de GANTT :

Prévu : [\(cliquer ici pour retourner aux démarches prévisionnelles\)](#)



Réalisé : ([cliquer ici pour retourner aux démarches prévisionnelles](#))



Couleurs PLA

On peut voir les deux couleurs qui ont été produites. A gauche, le PLA multicolore qui donne un fil gris, à droite le PLA trié noir (voir figure35 PLA multicolore/PLA noir).



Figure 39 PLA multicolore / PLA noir

4 -ème de couverture

Nom et prénom du stagiaire :

Galéa Lilian

Stage BUT :

Stage de deuxième année de BUT GMP

Nom de l'entreprise :

Institut des sciences du mouvement

Lieu du stage (ville) :

Aix en Provence

Tuteur industriel :

Monsieur TADRIST Loïc

Fonction :

Enseignant chercheur

Tuteur universitaire :

Monsieur VALLEE Jean-Christophe

Résumé du projet de stage :

Recyclage des déchets d'impression 3D

Les mots clés :

PLA – imprimante 3D – PET

Logiciels utilisés :

CURA, Catia V5, DevoVision, Word, Excel, LM_Acq2V (logiciel traction)

Nombre de pages du rapport :

65 pages

Nombre de pages des annexes :

20 pages