

# BOBINEUSE

Réponse à l'appel d'offre de Mr ERNESTO



Par Promo 2022 Entreprise D1



Hugo JACKSON  
Elisa PERRET  
Thomas LAURENT  
Octave METZ  
Hugo LENORMAND  
Kenny TALBI  
Clotilde PASCO-SALIGNY  
Hugo RUFFIN

## Table des matières

Contexte .....	3
Etude du besoin et Cahier des charges fonctionnel.....	3
I- Système de répartition du fil - Trancannage .....	4
1) Principe.....	4
2) Dimensionnement du rapport de réduction entre la bobine et le système de guidage .....	6
3) Solutions techniques pour le guidage .....	6
4) Conception du bâti du système de guidage .....	7
Choix des méthodes : .....	7
Coût du sous-ensemble bâti : .....	8
II- Support de bobine - Mise et maintien en position de la bobine .....	9
Principe .....	9
Carter roue/vis sans fin 201.....	10
Support excentrique 202 .....	11
Système piston ou mandrin 203 .....	12
Vis à roulement rotule flexible 204 .....	12
Roue et vis sans fin 205/206.....	13
Arbre d'équilibrage et mollette 208.....	13
Pieces supplémentaire pour l'assemblage (annexe 207) .....	14
III- Liaison entre le moteur, la bobine et le système de guidage .....	15
1) Choix de la courroie.....	15
2) Dimensionnement des poulies.....	17
3) Dimensionnement de l'engrenage conique .....	17
4) Choix du moteur et de la commande électrique .....	17
5) Conception des arbres et des bâtis .....	18
6) Coût de la liaison moteur/bobine/guidage .....	19
IV- Système de découpage et de blocage du fil sortant de l'extrudeuse .....	20
1) Etude d'une première solution .....	20
2) La solution retenue .....	21
Les pièces de notre système .....	21
La fabrication du système .....	24
3) Conclusion du bureau d'étude .....	27
V- Conclusion générale.....	27
Annexes .....	28

ANNEXE 1 : Exprimer clairement les besoins à l'origine de la bobineuse.....	29
ANNEXE 2 : La bête à cornes de la bobineuse.....	30
ANNEXE 3 : Diagramme pieuvre de la bobineuse .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
ANNEXE 4 : Listes des fonctions de la bobineuse.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
ANNEXE 5 : Schéma cinématique global de la bobineuse.....	0

## Contexte

L'impression 3D est une nouvelle méthode de conception qui gagne en popularité chez les industriels comme chez les particuliers. Les écoles d'ingénieurs, telles que l'ECAM Lyon, s'en équipent donc et forment les ingénieurs de demain à son utilisation.

Dans le but de réduire les coûts lors de l'achat des bobines, l'école possède une extrudeuse capable de fondre des microbilles de plastique pour créer du fil, sur place.

Mr ERNESTO, professeur de conception à l'ECAM Lyon, a lancé un appel d'offre pour concevoir et fabriquer une bobineuse dans le but d'enrouler le fil déjà conçu par l'extrudeuse. Cette machine aura aussi un enjeu pédagogique : elle permettra de former les élèves à la conception et de présenter les capacités pédagogiques et techniques de l'ECAM en opération de promotion.

Notre équipe se propose donc de répondre à cet appel d'offre en vous présentant nos solutions donc ce rapport.

## Etude du besoin et Cahier des charges fonctionnel

### *A quels besoins répond la bobineuse ?*

*Voir Annexe 1 et 2*

Le but premier est d'enrouler et stocker le fil préalablement fabriqué. Ces opérations devront se faire principalement dans le FabLab de l'ECAM ce qui nécessite une machine peu encombrante et sécuritaire. La machine doit donc s'adapter à l'extrudeuse déjà existante en facilitant la sortie du fil.

La machine devra aussi répondre à un besoin pédagogique et commercial auprès des étudiants et des industries se renseignant sur la formation à l'ECAM. Pour cela la machine doit être transportable autant sur le campus que sur les différents salons et s'adapter à un environnement variable. De plus le mécanisme doit être visible et facilement compréhensible pour des démonstrations simples et efficaces.

Ces attentes aboutissent donc à un cahier des charges fonctionnel présenté en *Annexe 3 et 4*.

La bobineuse répond donc à deux besoins principaux et les moyens disponibles à l'ECAM (TCN, impression 3D, découpe laser...) sont adaptés à sa conception et sa fabrication. Il s'agit donc bien d'un projet viable et faisable à l'échelle du prototype. Comme les retours sur investissements seront mineurs (achat de microbilles au lieu d'achat de bobines prêtes à l'emploi), le budget accordé à la bobineuse devra être minime.

Notre étude se sépare en 4 pôles principaux : le trancannage, le support de la bobine, la liaison en rotation de tous les sous-ensembles et la découpe du fil.

## I- Système de répartition du fil - Trancannage

### 1) Principe

On s'intéresse dans un premier temps à la fonction principale première de la bobineuse : guider le fil jusqu'à la bobine et l'enrouler.

II	Bobinage			
FP1	Embobiner un fil sortant de l'extrudeuse	Vitesse du fil en sortie de l'extrudeuse	15 mm/s	
FP1-1	Accueillir le fil sortant de l'extrudeuse			
FP1-2	Refroidir le fil entrant			
FP1-3	Ne doit pas rompre le fil			
FP1-4	Maintenir le fil enroulé			
FP1-5	Conserver le diamètre du fil	Diamètre	1,75 ou 2,85 mm $\pm 2$ mm	0
FP1-6	Guider le fil jusqu'à l'enrouleur			
FP1-7	Accueillir une bobine			

Pour que le fil soit enroulé proprement, efficacement et sans s'emmêler il faut concevoir un système de répartition du fil.

Exemples inspirants :

#### 1) Moulinet canne à pêche :



[www.manomano.fr](http://www.manomano.fr)

#### 2) Bobineuse manuelle de câble :



« Avec sa métreuse montée sur banc de trancannage, la SPIROCABLE permet de bien positionner les spires du câble les unes à côté des autres, d'où :

- un risque réduit d'emmêlement lors du déroulement
- une finition esthétique. »

[www.axolia.com](http://www.axolia.com)

La solution retenue est donc d'entraîner le fil dans un mouvement de va-et-vient de même axe que l'axe de la bobine. Pour réaliser ce mouvement, nous avons opté pour un système de bielle manivelle car c'est un mécanisme simple à réaliser qui nous offre la possibilité de régler le débattement du mouvement (via le trou oblong sur la pièce 305).

Le système s'organise comme ceci :

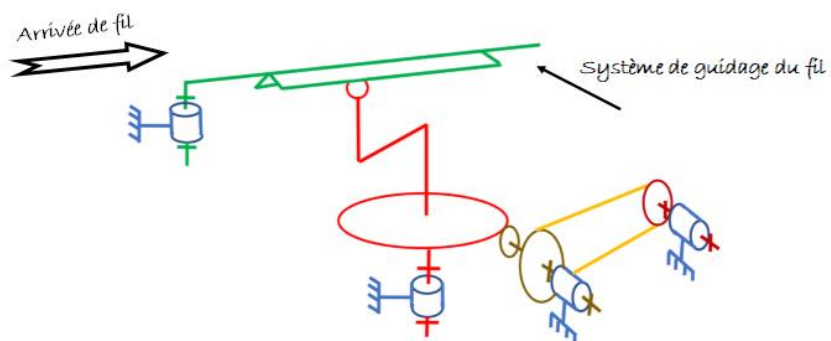
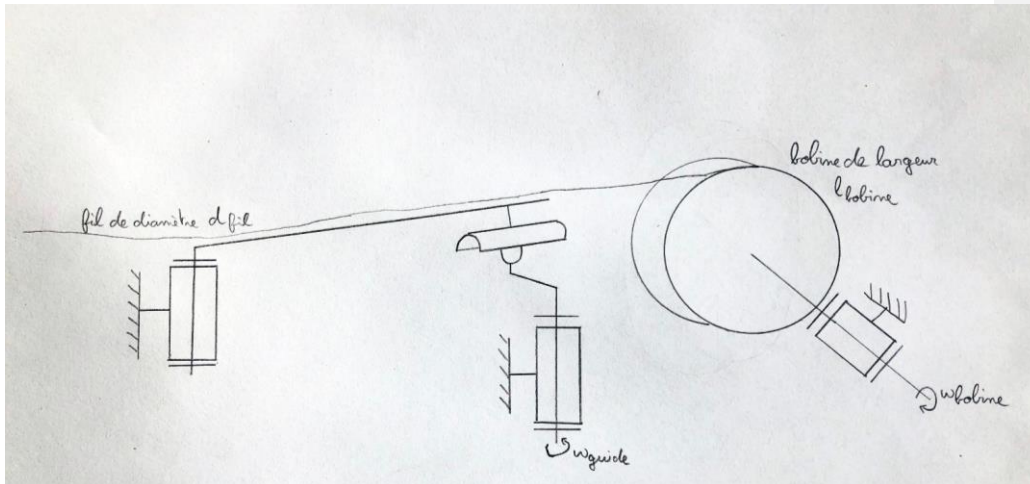


Schéma cinématique du système de trancannage

Comme le fil s'enroule à une vitesse déterminée par la vitesse de rotation de la bobine, le système de guidage doit donc adapter sa vitesse à la vitesse de rotation de la bobine.

## 2) Dimensionnement du rapport de réduction entre la bobine et le système de guidage

$n$  correspond au nombre d'enroulements du fil lorsque le fil recouvre une couche la bobine.

$$l_{bobine} = n \times d_{fil}$$

$\omega_{bobine} = 2n\omega_{guide}$  car quand le guide fait un tour, deux couches de fil ont été enroulées, le rouleau a donc fait  $2n$  tours.

Donc 
$$\omega_{guide} = \frac{d_{fil}}{2 l_{bobine}} \omega_{bobine}$$

On pose  $k$  le rapport de réduction,

Donc : 
$$k = \frac{d_{fil}}{2 l_{bobine}}$$

Or  $1,75 \text{ mm} < d_{fil} < 3 \text{ mm}$  et  $40 \text{ mm} < l_{bobine} < 60 \text{ mm}$

On a donc  $0,015 < k < 0,037$

On peut se permettre d'avoir un guidage du fil trop rapide (l'enroulement sera moins compact) mais on ne peut pas se permettre d'avoir un guidage trop lent.

On retient donc **0,037** pour la valeur du rapport de réduction entre le rouleau et le disque du système de guidage.

## 3) Solutions techniques pour le guidage

- La gouttière de guidage (304) est réalisée à partir d'un tube en acier de diamètre extérieur 20 et d'épaisseur 1,2mm (disponible sur amazon.fr).

Pour réaliser cette pièce, le tube sera coupé en deux (dans la longueur) et à ses extrémités seront collés via une colle silicone deux parties imprimés en 3D.

Estimation du cout : entre 24€ et 26€ (le tube coute 23,60€ et les parties à imprimer en 3D sont peu volumineuses).

- Le disque de guidage (305) est imprimé en 3D

Estimation du cout : <4€

- La vis guidage de la gouttière (306) est réalisée à partir d'une vis à tête hexagonale et à filetage partiel de diamètre 16mm dont on aura modifié l'extrémité via un tour.

Estimation du cout : <10€

- L'axe vertical de guidage (307) est réalisé à partir d'un tube plein en acier de diamètre 15mm qu'on aura usiné sur un tour.

Estimation du cout : <10€

- Le pignon conique (308) sera réalisé via une impression 3D

Estimation du cout : <5€

- Deux circlips (309) extérieurs de diamètre 13.8mm bloqueront le pignon (disponibles sur [www.123roulement.com](http://www.123roulement.com)).

Estimation du cout : environ 1€

Total : 52€

#### 4) Conception du bâti du système de guidage

Le sous-ensemble bâti se compose des trois pièces suivantes :

Nom	Référence	Matériaux	Outil et consommable	Procédé de fabrication
Support inférieur	301	Lamelles de bois collées (Bois reconstitué ou Medium Density Fiberboard ou MDF)	Découpeuse laser Sert joint Lime Perceuse à colonne Colle à Bois	Découpage des profils horizontaux Collage Rectification à lime
Equerre	302	PLA	Imprimante 3D	Impression Nettoyage bavures
Support supérieur	303	Bois reconstitué ou Medium Density Fiberboard ou MDF.	Découpeuse laser Perceuse à colonne	Découpage Perçage

#### Choix des méthodes :

Support inférieur : La méthode lamellé-collé est originale mais elle permet de générer une forme plus complexe, plus facilement usinable et avec de meilleures caractéristiques mécaniques que si nous avions décidé de réaliser cette pièce directement dans du bois à partir d'un plateau (planche épaisse). La pièce aurait aussi pu être réalisée en plastique par moulage mais cette solution n'est pas adaptée au matériel du FabLab. L'impression 3D reste une option intéressante bien que la pièce soit volumineuse.

Le produit semi-fini nécessaire à la réalisation est une plaque de MDF de 5 mm d'épaisseur (toutes les côtes verticales étant des multiples de 5 mm). La colle utilisée est une colle polyuréthane. En plus d'assurer un maintien correct celle-ci, résiste aux écarts de températures cependant le temps de séchage de celle-ci est important (de 4 à 8 heures pour une pièce de cette dimension). De plus l'assemblage avec la partie supérieure est assuré par la mise en place de deux vis de pressions (vis à bois), le choix du matériau permet alors de ne pas avoir à réaliser un taraudage peu fiable en impression 3D.



Equerre : Cette pièce, de taille correcte pour une impression, demande un certain degré de précision notamment pour ce qui est de l'emplacement des perçages de l'axe horizontal et du logement du roulement de l'axe vertical.

Support supérieur : La géométrie de cette pièce est facilement obtenue par découpage d'une plaque de MDF. On réalise ensuite des logements pour les têtes des vis à bois pour éviter que celle-ci ne dérange.

#### Assemblage du sous-ensemble :

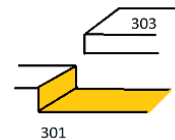
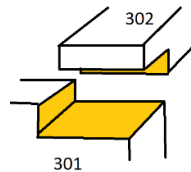
Les pièces 302 et 303 ne se touchent pas mais s'assemblent à la pièce 301.

301/302 : Mise en position : 3 contacts plan/plan

Maintien en position : les pièces sont indirectement maintenues avec des vis de pressions liées au support de la bobineuse.

301/302 : Mise en position : 2 contacts plan/plan

Maintien en position : 2 vis de pression (2 vis à bois)



#### Coût du sous-ensemble bâti :

- Colle polyuréthane : un pot de 250 ml se vend généralement en dessous de 10 €
- Plaque de MDF :
  - Pour le support inférieur : cette pièce demande une plaque L.250 x l.122 vendue au détail sur Leroy merlin à environ 20€.
  - Pour le support supérieur : cette pièce demande une plaque d'épaisseur de 10 mm L.250 x l.122 vendue au détail sur Leroy merlin à environ 22€.
- A ce sous-ensemble on ajoute un roulement à bille à contact radial de diamètre intérieur 9 mm et extérieur 24 mm étanche à la poussière. La marque SKF propose la Référence : 609-ZZ-SKF entre 6€ et 7€ selon le vendeur.

Ces deux plaques et la colle ne seront pas intégralement utilisées et pourront servir à d'autres projets. Le sous ensemble demande plusieurs vis à bois non prises en compte dans l'étude du coût.

On attend donc un total de **58€** pour ce sous-ensemble.

## II- Support de bobine - Mise et maintien en position de la bobine

### Principe

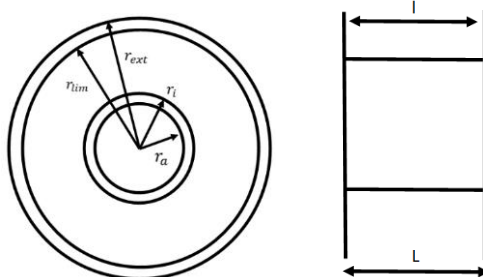
On s'intéresse dans un deuxième temps aux fonctions principales 1 et 5 de la bobineuse :

II	Bobinage
<b>FP1</b>	<b>Embobiner un fil sortant de l'extrudeuse</b>
FP1-1	Accueillir le fil sortant de l'extrudeuse
FP1-2	Refroidir le fil entrant
FP1-3	Ne doit pas rompre le fil
FP1-4	Maintenir le fil enroulé
FP1-5	Conserver le diamètre du fil
FP1-6	Guider le fil jusqu'à l'enrouleur
FP1-7	Accueillir une bobine

FPS	Supporter différentes bobines			
FPS-1	S'adapter à des bobines de diamètres différents	Diamètre	100±1 mm	0
FPS-2	S'adapter à des bobines de largeur différentes	Largeur	de 48mm à 68mm	0
FPS-3	S'adapter à des bobines de masses différentes	Masse	jusqu'à 1kg	0

En effet, plusieurs tailles de bobines sont utilisées à l'ECAM dont les caractéristiques sont les suivantes :

	Bobine 1	Bobine 2	Bobine 3
$r_{ext}$ (mm)	100	100	100
$r_{lim}$ (mm)	91	91	91
$r_i$ (mm)	50	31	52,5
$r_a$ (mm)	27,5	27,5	26,5
L (mm)	68	48	52
l (mm)	62	40	46
Masse pleine (g)	1000	750	
Type de polymère	PLA	PLA	PLA
Diamètre du fil (mm)	1,75	1,75	2,85



Afin de garantir un enroulement optimal, il est primordial d'avoir une bobine bien en place car son éjection en cours de fonctionnement pourrait conduire à un accident (aussi mineur soit-il). De ce fait nous avons eu l'idée de reprendre le concept des mandrins utilisés lors des opérations de tournages dans le sens inverse. En effet plus l'extrémité de nos mandrins seront excentrés du centre de notre roue sans fin (voir schéma cinématique) plus la pression (s'il y a contact) est importante. Il suffira à l'utilisateur de tourner une molette afin de mettre en place et de maintenir la bobine.

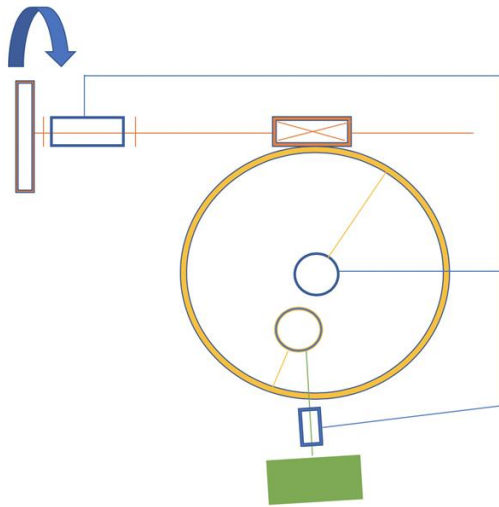


Schéma cinématique du système de fixation (un seul mandrin représenté)

## Carter roue/vis sans fin 201

### Fonctions à garantir :

- Protéger les pistons, la vis sans fin et la roue lors de vitesses de rotation élevées.
- Être équilibré une fois le tout monté afin d'éviter les balourds.
- Garantir la liaison pivot avec la vis sans fin et la roue.
- Garantir la liaison glissière avec notre mandrin.
- Garantir la liaison entre l'arbre moteur et les bobines.

### Solutions :

Pour répondre à des soucis d'usinage et de mise en place des différentes pièces, le carter aura la forme d'un parallélépipède de 10cm de côté et 3,5 cm de profondeur. Sur les deux faces les plus larges on retrouvera deux cylindres, l'un percé pour la liaison avec l'arbre moteur, l'autre servira à mettre en place les pistons. Sur le bord droit du carter on retrouvera

un trou en forme de cylindre qui permettra de fixer la molette de réglage à la vis sans fin. Pour équilibrer le poids dans carter on placera un arbre de même dimension que la vis sans fin en dessous de la roue, il sera maintenu par des écrous à encoche. Pour ne pas être gêné par ces derniers, le carter présentera deux usinages qui permettront de ne pas faire ressortir les écrous.

Le carter ayant une forme complexe la méthode retenue pour sa création sera l'imprimante 3D. De plus les pièces qui seront en contact dynamique avec celui-ci auront un faible coefficient de frottement ce qui nous permet de négliger la lubrification.

L'impression 3D permet d'obtenir un carter plus léger. Ainsi, une fois mis en rotation celui-ci créera moins de vibrations. Il est souvent plus judicieux de mettre le moins de masse possible en rotation surtout dans le cadre d'une maquette.

La liaison pivot de la vis sans fin sera assuré par deux roulements à billes à contact radial. La liaison pivot de la roue sera assurée par un l'arrêt en translation de l'arbre à l'aide d'un système écrou/anneau élastique (voir annexe 207).

La liaison glissière sera assurée par la géométrie du carter qui jouera le rôle de moyeu pour notre mandrin.

#### Coûts :

Le PLA pour imprimante 3D a un prix moyen dans le commerce de 19euros le kilo. On néglige le coût de cette impression car on reste sur un prototype. La création du carter sera donc couteuse en temps mais rentable en termes de coûts.

### Support excentrique 202

#### Fonctions à garantir :

- Être fixable sur la roue
- Permettre la mise en place des vis à roulement rotule (Annexe 204) avec lesquelles il réalisera des liaisons encastrements. De plus, les mandrins vont transmettre des efforts liés au maintien des bobines. Ainsi, le support doit résister à des efforts à ne pas négliger.

#### Solutions :

- Mise en place de trous qui laisseront passer des vis qui iront se visser dans la pièce située en amont.
- Création d'un alésage usiné à l'extrémité supérieure qui permettra la mise en place d'un arbre qui fera la liaison entre la roue et vis sans fin et le support (voir annexe 207)
- Nous avons opté pour imprimer cette pièce en 3D (PLA) pour ses caractéristiques mécaniques suffisantes.

#### Coûts :

Le PLA est une fois de plus rentable en matière de temps et d'argent sur cette pièce à la géométrie moins complexe que le carter.

## Système piston ou mandrin 203

### Fonctions à garantir :

- Glisser sans trop de frottements dans le carter 201.
- Géométrie permettant de ne pas bloquer le mécanisme.
- Ne pas briser ou endommager la bobine.

### Solutions :

- Fabrication 3D avec ajout de plaquette de caoutchouc afin de permettre un contact efficace bobine-mandrin (et nous n'abimerons pas la bobine)
- Après dimensionnement via un calcul géométrique de type fermeture géométrique sur l'excentrique ; notre mécanisme permettra de serrer la petite ainsi que la grande bobine. En effet, le débattement étant assez grand, la course du piston peut varier de 0 à 12cm sans entrainer de complication.

### Coûts :

La géométrie de notre piston étant proche de celle d'un piston moteur, nous avons choisi de baser notre analyse financière sur des modèles de piston déjà existant dans le commerce. Le prix d'un piston moteur varie de plusieurs dizaines d'euros à plusieurs centaines ce qui n'est pas envisageable pour respecter le budget, de plus nous souhaitons en adapter la géométrie. Pour cela nous avons opté pour le PLA qui présente les mêmes caractéristiques que précédemment et les mêmes avantages.



## Vis à roulement rotule flexible 204

### Fonctions à garantir :

- Pièce nécessaire afin de réaliser la liaison pivot entre notre ensemble mandrin/support excentrique.

### Solution :

- Solution facile à mettre en place et disponible dans le commerce.
- On introduit un certain jeu ce qui, dans le cas de notre mise en position est favorable.

- Une fois mis en position, cette mobilité est quasiment nulle du fait des contraintes s'appliquant sur l'ensemble mandrin/vis rotule.

#### Coûts :

Les possibilités sont nombreuses et le prix varie de 4 euros à 10€. Pour cet ensemble de pièces le cout total est estimé à 20€ tout compris.

#### Roue et vis sans fin 205/206



Nous avons opté pour un tel système car il présente plusieurs avantages. D'abord ce système est irréversible dans le sens de la roue sans fin vers la vis sans fin ce qui empêche un desserrement de notre système mandrin. De plus ; il permet d'avoir un très grand rayon de réduction au vu de l'encombrement qu'il occasionne (odg : 1/30), ce qui permet à l'utilisateur de serrer la bobine doucement qui, rappelons-le, est en matière plastique. Ainsi, il ne risquera pas de la casser. Ces pièces seront achetées dans le commerce.

#### Coûts :

La roue doit comporter 30 dents et le filet de la vis est unique pour répondre au critère apporté par le rapport de réduction. Une roue de 30 dents et une vis de filet 1 se trouve dans le commerce pour 13€ (hors frais de port).

#### Arbre d'équilibrage et mollette 208

##### Fonctions à garantir :

- Arbre : - Être de même dimension que la vis.
- Être aussi lourd que la vis.
- Equilibrer le système pour limiter les vibrations.

Molette : Être légère et résistante

##### Solution :

La molette sera usinée en PLA, quant à l'arbre on l'usinera dans le même matériau que la vis sans fin pour garantir les exigences de poids.

Pieces supplémentaire pour l'assemblage (annexe 207)

Roulement × 2	24,47€ l'unité
Vis	4€ les 20 unités
Circlips de diamètre 3 <i>cm</i> × 2	0,89€ pièce
Ecrous à encoche × 2 (d intérieur 12mm, d extérieur 22mm, épaisseur 4mm)	15,85€ pièce
Coussinets en caoutchouc	7,99 le lot

Le coût total estimé pour la fabrication du système de fixation de la bobine est de 120€ (hors frais de port).

### III- Liaison entre le moteur, la bobine et le système de guidage

D'après les calculs de la partie guidage, il faut un rapport de réduction de 0,037 entre la sortie du système moteur électrique/bobine et le plateau de guidage. On choisit donc de lier l'axe horizontal 406 et l'axe vertical 307 avec un renvoi d'angle et un rapport de réduction  $r = 0,047$ . Ce rapport de réduction n'est pas exactement celui prévu par les concepteurs de la partie guidage mais face à des contraintes de dimensions c'est le rapport de réduction le plus proche possible. De plus, nous avons vu que nous pouvons nous permettre d'avoir un guidage du fil trop rapide mais pas trop lent.

On opte donc pour une association poulie/courroie et engrenages coniques avec un rapport de réduction  $r_1 = 0,145$  pour la courroie et  $r_2 = 0,33$  pour les engrenages coniques.



#### 1) Choix de la courroie

On prévoit de réaliser les poulies au FabLab par impression 3D pour réduire le prix de la bobineuse et pour avoir plus de liberté sur leur conception. On commence donc déjà par dimensionner la courroie.

Les efforts transmissibles sont moindres et les vitesses de rotation inférieures à  $9 \text{ tr/min}$ . Le dimensionnement de la courroie et des poulies n'est donc pas un enjeu essentiel. On privilégiera donc des pièces simples (pour l'impression 3D) et peu coûteuses.



Le choix se porte sur la courroie suivante :

Commenté [EP1]: Site :

<https://www.123courroies.com/courroie-dentee-5m-pas-5mm/304624-courroie-dentee-390-5m9.html>



#### COURROIE DENTÉE SIMPLE 390-5M9

Référence : 390-5M9

Longueur : 390 mm  
Largeur : 9 mm  
Nombre de dents : 78  
Matière : Néoprène cable en fibre de verre

GÉNÉRIQUE  
BOUTE-COURROIE

4,90 € T.T.C.  
4,09 € H.T.

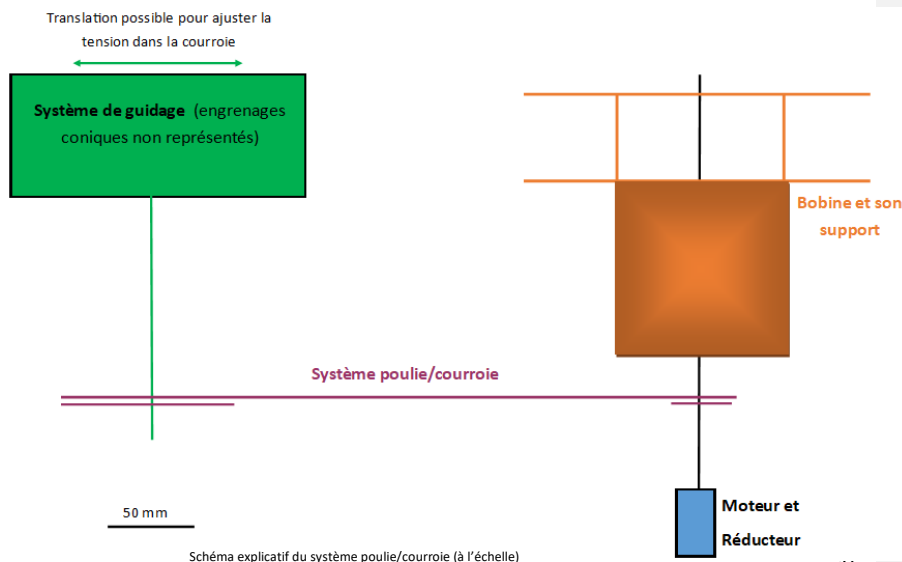
#### FICHE TECHNIQUE : COURROIE DENTÉE SIMPLE 390-5M9

- Profil **Pas 5mm - 5M / RPP5**
- Largeur/Nbre de bosses **9 mm**
- Type de courroie **Dentée simple**
- Matière **Néoprène**
- Longueur (mm) **390**
- Pas (mm) **5**
- Nombre de dents **78**
- Largeur (mm) **9**
- Marque de courroie **Générique**
- Cablé **Fibre de verre**

Cette courroie sera découpée à 9 mm de largeur.

<https://www.123courroies.com>

Le battement du guidage est très précis (autour de 10°), il est donc nécessaire d'avoir une bonne précision en amont du guidage. On choisit donc une courroie dentée. Elle possède un pas de 5mm, ce qui est raisonnable lorsqu'on pense à une future impression en 3D des poulies qui devront elles aussi avoir un pas de 5mm. Les dimensions de la courroie (longueur et largeur) ont été choisies à partir des dimensions de la bobine et du système de guidage. Pour créer la tension adéquate dans la courroie, on ajoute dans le bâti du guidage des trous oblongs permettant de translater la poulie 403 pour ajuster la distance entre les deux poulies.



## 2) Dimensionnement des poulies

On cherche à avoir  $r_1 = \frac{d(\text{poulie404})}{d(\text{poulie403})} = 0,145$

On choisit des poulies de dimensions adaptées au mécanisme :

$$d(\text{poulie404}) = 16 \text{ mm}$$

$$d(\text{poulie403}) = 110 \text{ mm}$$

Pour correspondre à la courroie, elles auront donc une épaisseur de 9mm et un pas de 5mm.

Comme elles ont vocation à être imprimées au FabLab, on se permet d'ajouter une clavette "intégrée" directement dans la poulie. On réalise l'encastrement de ces poulies par association d'un arrêt en rotation grâce à un clavette « intégrée » et d'un arrêt en translation grâce à un écrou à encoche.

## 3) Dimensionnement de l'engrenage conique

On cherche à avoir  $r_2 = \frac{Z(401)}{Z(402)} = 0,33$

On choisit aussi d'imprimer en 3D les pignons, pour que l'impression se passe bien on choisit un module  $m = 2$ . On a la relation  $d = m \times Z$  avec  $d$  le diamètre primitif et  $Z$  le nombre de dents.

En prenant en compte les dimensions du système, on aboutit aux dimensions suivantes :

	Diamètre primitif (mm)	Nombre de dents
401 – pignon	30	15
402 – roue	90	45

## 4) Choix du moteur et de la commande électrique

L'extrudeuse impose une vitesse linéaire du fil de  $V = 15 \text{ mm/s}$ . Les bobines ont des rayons d'enroulement allant de 31mm à 91mm en fonction de la bobine et du taux de remplissage de celle-ci.

$$\omega = \frac{V}{R}$$

On veut donc une vitesse en sortie du moteur/réducteur de 0,16 à 0,48 rad/s.

Cependant, on veut aussi pouvoir enrouler du fil froid provenant d'une autre bobine, on se réserve donc la possibilité de doubler la vitesse du moteur.

Ainsi, on veut des vitesses de rotation allant de 0,16 à 0,96 rad/s, soit moins de 9 tr/min.

Il n'y a aucun couple s'opposant à celui du moteur dans ce système, il n'est donc pas nécessaire de choisir un moteur ayant des possibilités de couple élevées. On choisira tout de même un moteur alimenté en 12V CC pour respecter la fonction FS11.

**Commenté [EP2]:** Explication technique poulies dentées : <https://www.binder-magnetic.com/documentation/explications-techniques-poulies/>

**Commenté [EP3]:** Site aidant à la conception :  
Pignon 15 dents <https://fr.rs-online.com/web/p/engrenages-coniques/5216014/>  
Petite poulie <https://www.123courroies.com/type-t5-aluminium-pas-metrique-5mm/72217-poulie-dentee-aluminium-t5-10-21-4014486226119.html>  
Engrenage [https://www.michaud-chailly.fr/index.php?ent\\_id=1&cat\\_id=16&ni1\\_id=141&ni2\\_id=240&ni3\\_id=444&ni4\\_id=1367&csaction=site%2Fentite%2Fcatalogue%2Fdetail\\_technique\\_filtre&ent\\_id=1&cat\\_id=16&ni1\\_id=141&ni2\\_id=240&ni3\\_id=444&ni4\\_id=1367&colonne=8&filtre=45&%23=breadcrumb](https://www.michaud-chailly.fr/index.php?ent_id=1&cat_id=16&ni1_id=141&ni2_id=240&ni3_id=444&ni4_id=1367&csaction=site%2Fentite%2Fcatalogue%2Fdetail_technique_filtre&ent_id=1&cat_id=16&ni1_id=141&ni2_id=240&ni3_id=444&ni4_id=1367&colonne=8&filtre=45&%23=breadcrumb)

**Commenté [EP4]:** Données coniques : <http://www.tandwiel.info/fr/engrenages/engrenages-coniques-avec-denture-droite/>

Voici le moteur choisi : [fr.rs-online.com](https://fr.rs-online.com)

Attribut	Valeur
Vitesse de sortie	9 tr/min
Tension d'alimentation	12 V c.c.
Couple de sortie maximum	600 mNm
Type de moteur V c.c.	Brossé
Diamètre d'arbre	6mm
Type de tête de réduction	Engrenage droit
Longueur	110.1mm
Largeur	38mm
Profondeur	38mm
Dimensions	79 x 38 x 38 mm
Matériau du noyau	Noyau en Acier
Angle d'axe	Droit
Rapport de transmission	20.834027778
Conformité	RoHS



Commenté [EP5]: Site : <https://fr.rs-online.com/web/p/motoreducteurs-a-courant-continu/9013308/>

De plus, pour respecter la fonction

**FP2 Embobiner un fil provenant d'une autre bobine**

on veut pouvoir changer la vitesse de rotation de la bobine. On intègre donc un potentiomètre. Pour dimensionner le potentiomètre, il sera nécessaire de relever expérimentalement le courant circulant dans le moteur lorsqu'il est alimenté en 12V (à la fois car le constructeur ne précise pas l'intensité de ce courant et aussi car les données techniques et expérimentales sont souvent différentes selon la charge appliquée sur le moteur).

On ajoute aussi un voyant et un bouton poussoir pour respecter la fonction de communication FS3.

### 5) Conception des arbres et des bâtis

Les arbres 405 et 406 sont usinés sur un TCN à partir de barre d'acier de 170mm et 140mm respectivement. Le logement qui accueille l'arbre du moteur dans la pièce 406 peut être obtenue à partir d'un tour à commande numérique. Vu les basses vitesses de rotation, la liaison pivot de l'axe 405 peut se faire avec un coussinet cylindrique.

Le bâti 407 est composé de 4 pièces en acier dont 3 sont soudées ensemble. La partie cylindrique devra être usinée sur un tour pour pouvoir accueillir les roulements.

Le bâti 408 est une association de planche de bois compensé découpé au laser.

Nous avons choisi de concevoir des bâtis à hauteur variable pour pouvoir adapter la hauteur de la bobine à la hauteur d'arrivée du fil. La solution retenue est une association trou oblong et boulon. Cette caractéristique se retrouve donc sur les deux bâtis 407 et 408.

## 6) Coût de la liaison moteur/bobine/guidage

On considère que les pièces imprimées en 3D et les vis et la rondelle ne coutent rien à l'échelle d'un prototype et on ne prend pas en compte les frais de port.

Pièce	Coût unitaire (€)	Quantité	Total (€)
Poulie 403	0	1	0
Poulie 404	0	1	0
Pignon 401	0	1	0
Roue 402	0	1	0
Ecrou M50	8,95 (Amazon)	1	8,95
Ecrou M9	0,761 (Amazon)	2	1,522
Ecrou M4	2,24 (Vis express)	1	2,24
Coussinet PBM 202820 M1G1	4€	1	4
Roulement	31,50 (123roulements)	2	63
Clavette	~1	1	1
Arbre 405	13,22 (mano mano)	1	13,22
Arbre 406	17 (mano mano)	1	17
Equerres	0,068 (selm.fr)	2	0,14
Bâti 407	150 (détail fait sur le site JohnSteel)	1	150
Bâti 408	Déjà comté dans la partie 1	1	0
Entretoise	9,79 (123roulements)	1	9,79
Circlips	4,39	2	8,78
Circlips	1,87	1	1,87
Bouton Poussoir	1 (Amazon)	1	1
Voyant 12V LED	3 (Amazon)	1	3
Moteur	76€	1	76€

On atteint un total de 258,5€

## IV- Système de découpage et de blocage du fil sortant de l'extrudeuse

Dans cette partie on se propose de chercher une solution technique au blocage du fil ainsi qu'à sa découpe. Tout d'abord, si le fil n'est pas bloqué, on peut imaginer qu'il va se dérouler de nouveau et donc effectuer un retour : nous vous présenterons donc notre système anti-retour. Dans une seconde partie, nous nous occuperons de la découpe du fil. En effet, l'opérateur pourrait avoir besoin de le couper, majoritairement pour récupérer la bobine et la remplacer par une nouvelle. Nous avons donc élaboré un système de découpe capable d'être activé à tout instant. Enfin, nous nous sommes imposé comme exigence que les deux mécanismes soient liés et que, dans le meilleur des cas, nous n'ayons qu'un seul mécanisme à manipuler.

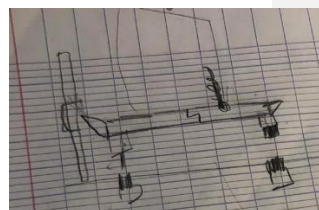
Voici les fonctions à résoudre cette partie :

FP3	Prendre en compte le changement de bobine
FP3-1	Prendre en compte l'accroche du fil en début de processus
FP3-2	Prendre en compte le changement de bobine
FP3-3	Couper le fil après la fin du processus

FP1	Embobiner un fil sortant de l'extrudeuse
FP1-1	Accueillir le fil sortant de l'extrudeuse
FP1-2	Refroidir le fil entrant
FP1-3	Ne doit pas rompre le fil
FP1-4	Maintenir le fil enroulé
FP1-5	Conserver le diamètre du fil
FP1-6	Guider le fil jusqu'à l'enrouleur

### 1) Etude d'une première solution

Dans un premier temps nous nous étions penchés sur un système composé d'un bâti avec rainuré où passerait le fil sortant de l'extrudeuse. Nous aurions ensuite ajouté deux arbres liés, un possédant la lame permettant de couper le fil, l'autre possédant un système similaire à un verrou de porte pour permettre le blocage du fil. La partie avec la lame aurait été rattachée à un ressort permettant de la remonter automatiquement après que la coupe ait été exécutée par l'opérateur tandis que la seconde partie resterait appuyée sur le fil pour maintenir le blocage. *Voir ci-contre*



Le problème d'un tel mécanisme est que cela était trop complexe à réaliser et que nous n'avions pas de pièce en hauteur à laquelle nous aurions pu attacher les ressorts. De plus, cela aurait impliqué un guidage des ressorts à implémenter. D'un point de vue général, nous nous rendions compte que cette solution avait des problèmes de fiabilité et qu'il était possible de trouver une solution beaucoup plus simpliste et plus efficace. Enfin, même si cette idée répondait à notre condition sur le lien entre le blocage et le coupage, on n'obtenait pas un

unique mécanisme et plusieurs actions de l'opérateur étaient nécessaires. (Exemple : Remonter la partie blocage, descendre le levier...)

## 2) La solution retenue

Après une réflexion plus profonde et axée sur un système plus simple d'utilisation et plus aisé à mettre en œuvre, nous sommes arrivés sur un mécanisme de type guillotine. En effet, il est composé d'un bâti qui sera en liaison pivot avec un levier possédant une lamelle à son extrémité qui assurera le système de découpe du fil. Enfin, pour le blocage du fil nous nous appuyons sur le phénomène de flexion. La totalité du mécanisme sera expliquée dans la suite de cette partie.

### Les pièces de notre système

#### a) *Le bâti*

Notre bâti est donc rainuré sur la longueur pour pouvoir y poser le fil avec une encoche en fin de course pour accueillir la lamelle qui va permettre la découpe du fil. Comme on peut le voir à gauche de la pièce, nous avons une sorte « d'oreille » qui va permettre de réaliser la liaison pivot avec la seconde pièce de notre mécanisme qui sera un simple levier. Enfin, on peut observer une différence de hauteur, celle-ci va permettre de fixer une pièce faite dans un matériau flexible ce qui permettra en effectuant une certaine pression sur notre pièce, de coincer le fil dans la rainure. (Voir Schéma 1)

De plus, un perçage est nécessaire au niveau du centre de « l'oreille » pour initier la trajectoire du fil dans le mécanisme. (Voir Schéma 2)

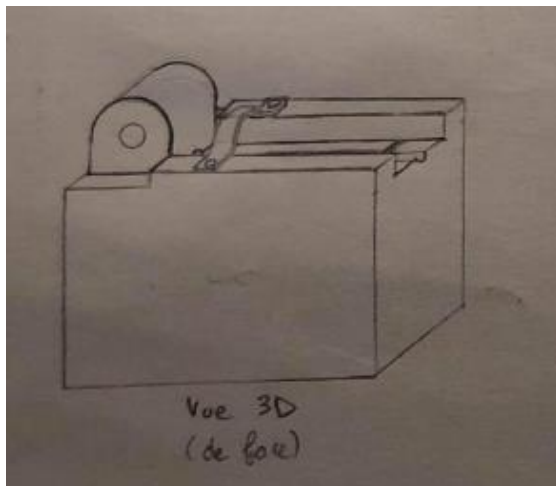


Schéma 1

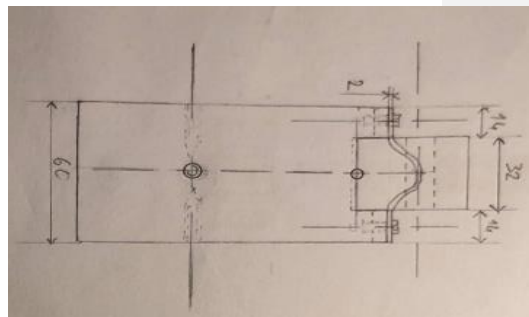
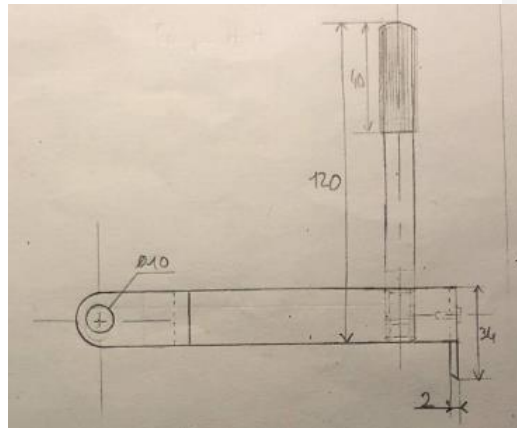


Schéma 2

#### b) Le levier de coupe

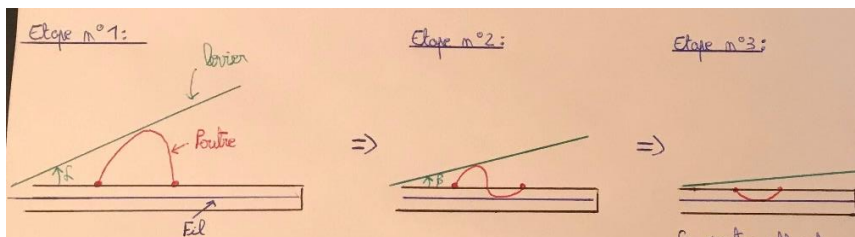
La seconde pièce de notre mécanisme est un système de guillotine qui va permettre la découpe du fil à l'utilisateur à tout instant  $t$ . En effet, il est en liaison pivot avec le bâti et possède un levier permettant l'accompagnement de l'opérateur. (Voir ci-contre)



#### c) Le blocage du fil

Après avoir réfléchi sur une découpe simple du fil, nous devons trouver une solution technique pour le système anti-retour de celui-ci. Nous avons donc fait le choix de nous tourner vers la science des matériaux. En effet, en fixant une sorte de poutre faite d'un matériau à mémoire de forme et d'une forte flexibilité et en utilisant la pression du levier sur cette poutre on peut effectuer le blocage du fil. (Schéma ci-dessous)

Fonctionnement du système de blocage :



Poutre forme  
parabolique

Poutre forme  
de S

La poutre atteint une forme de U  
et bloque le fil. Seul l'opérateur  
peut la redresser quand le  
blocage n'est plus désiré.

Contrairement aux dessins ci-dessus où nous avons essayé de simplifier la représentation, notre poutre est bien perpendiculaire au levier et non parallèle à celui-ci. En voilà plusieurs vues pour mieux se l'imaginer :

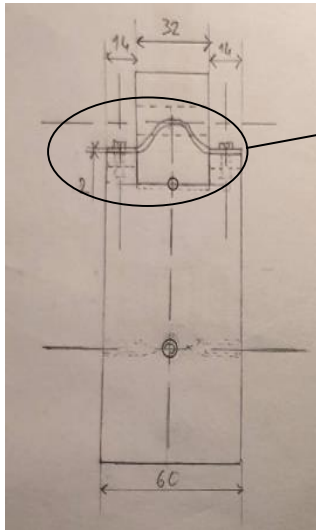


Schéma 4

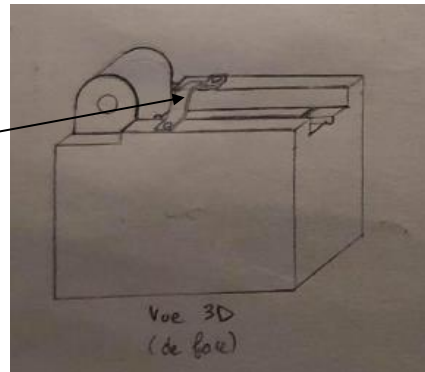
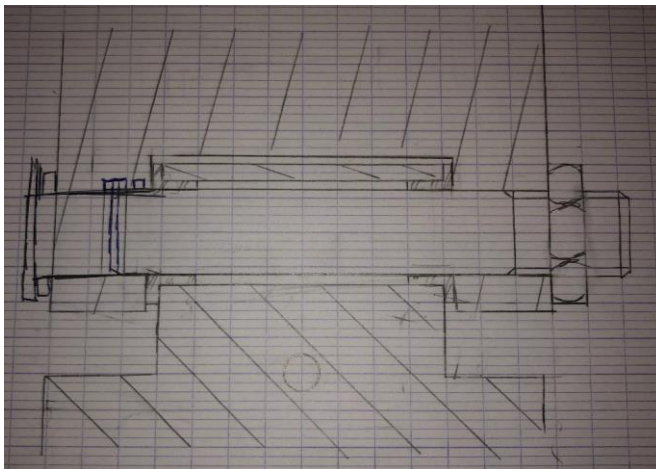


Schéma 5

#### d) La liaison pivot bâti-levier

Enfin, pour relier notre bâti à notre levier, nous avons décidé d'y installer une liaison pivot. Cette liaison pivot s'appuie sur une tige filetée servant d'axe commun entre les deux pièces. Celle-ci sera accompagnée par un système d'écrou-rondelle. Enfin, nous voulons obtenir un serrage adéquat à la fonction du système. Il ne faut en aucun cas que le levier ait tendance à retomber sous la gravité quand il est en position relevé. Nous allons donc utiliser le système du double écrou pour paramétrer ce serrage. (Voir ci-dessous)





## La fabrication du système

### a) Fabrication des pièces

**Bâti :** Pour la fabrication du bâti nous voulions tout d'abord séparer la partie caisson rainurée de la partie « oreille » car nous nous disions que cette dernière devrait être composée d'un matériau plus résistant du fait que la liaison pivot et le levier sur lequel l'opérateur exercera une force reposent dessus. Après plusieurs recherches, rassembler l'intégralité en une pièce et tout réaliser à l'imprimante 3D nous a semblé plus optimisé au niveau du coût, en effet, réaliser le bâti en bois avec nos dimensions aurait coûté plus cher en plus de la création de la partie oreille. À ça il faut rajouter le perçage et le rainurage du bâti. Alors que l'impression 3D nous permettrait d'obtenir tout ça en une fois. Si toutefois un problème de résistance venait se poser. On pourrait utiliser des rondelles métalliques pour diminuer le frottement entre les pièces et ajouter des congés sur les arêtes pour minimiser les contraintes.

**Levier :** Pour le levier, il va lui aussi être réalisé par impression 3D et l'on fixera ensuite une lame ainsi qu'une poignée pour le diriger.

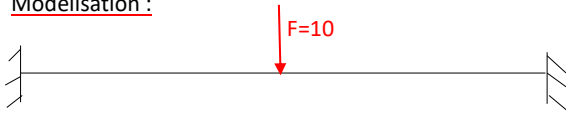
**Liaison pivot :** Pour cette liaison, nous aurons besoin d'une tige filetée, de quatre écrous ainsi que deux rondelles plates que l'on assemblera comme le dessin précédent.

**Tableau récapitulatif :**

Nom	Référence	Matériaux	Outil et consommable	Procédé de fabrication	Coût
Bâti	101	ABS	Imprimante 3D	Rainurage, perçage, filetage.	À déterminer sur un logiciel d'impression 3D
Levier	102	ABS	Imprimante 3D	Visser une lamelle à son extrémité et double filetage.	À déterminer sur un logiciel d'impression 3D
Liaison pivot	103	PET (Cf partie RDM)	Consommable : Tige filetée, 4 écrous, 2 rondelles plates.  Outil : Une disqueuse.	Couper la tige filetée avec la disqueuse pour obtenir la longueur voulue.	Consommable : 22,06 euros.  Outil : Environ 100 euros.
Poutre flexible	104				

b) Choix du matériau de la poutre bloquante

Modélisation :



On fait l'hypothèse d'une force ponctuelle  $F$  qui s'applique au centre de la poutre. On sait que l'on obtiendra un torseur indiquant de la flexion simple. On peut donc directement appliquer la loi de comportement en lien avec le moment fléchissant  $M_{f_z}$ .

$$\gamma = \frac{M_{f_z}}{E \times I_{G_z}} = \frac{F \times \frac{L}{2}}{E \times I_{G_z}} \quad (1)$$

$$L = 32\text{mm} \quad I_{G_z} = \frac{bh^3}{12} = \frac{32 \times 10^3}{12} = 2666.667 \text{ mm}^4$$

On peut donc tracer la courbure  $\gamma$  en fonction de  $E$  et déterminer avec quel matériau à mémoire de forme, on obtient la courbure la plus grande avec un effort similaire.

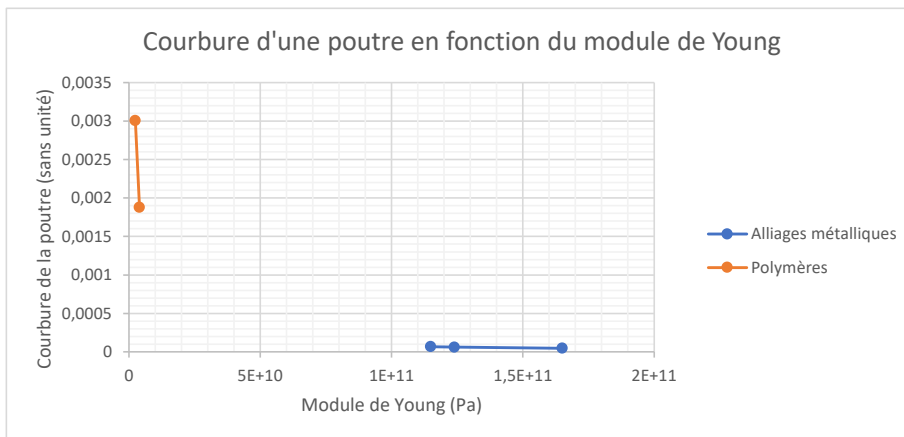
**Remarque :** Un **alliage à mémoire de forme (AMF)** est un alliage possédant plusieurs propriétés inédites parmi les matériaux métalliques : la capacité de garder en mémoire une forme initiale et d'y retourner même après une déformation, la possibilité d'alterner entre deux formes préalablement mémorisées lorsque sa température varie autour d'une température critique, et un comportement super élastique permettant des allongements sans déformation permanente supérieure à ceux des autres métaux. Parmi les principaux alliages à mémoire de forme, on retrouve toute une variété d'alliages de nickel et de titane comme constituants principaux, en proportions presque égales.

Différentes applications de cette propriété de mémorisation de forme :

- Capteur de température (type bilame mais mono-matériau), par exemple dans des friteuses.
- Actionneurs en robotique.
- Manchons d'accouplement.
- Agrafes pour fractures osseuses.
- Stents.
- Récupération de chaleur basse température et conversion en électricité

Lorsqu'on parle de matériaux mémoire de forme, on pense généralement aux alliages métalliques nickel-titane, cuivreux ou à base de fer. Cependant, il existe d'autres alliages qui sont le siège d'une transformation martensitique, responsable des propriétés mémoires. On peut citer en exemple les alliages suivants : l'Au-Cd, l'In-Tl, l'Au-Cu, le Fe-Pd, le Fe-Pt, même si ces matériaux ont aujourd'hui peu d'applications. Les deux familles couramment utilisées pour des applications mémoire de forme sont la famille des cuivreux avec le Cu-Zn, Cu-Al, Cu-Sn, Cu-Zn-Al, Cu-Al-Ni, Cu-Al-Be, Cu-Al-Mn, ainsi que la famille des Ti-Ni, soit sous forme d'alliage binaire ou avec des ajouts de Cu, de Fe, ou d'éléments plus exotiques comme le Pd ou encore le Hf.

Nous pouvons observer que la plupart des matériaux à mémoire de forme sont des alliages métalliques cuivreux (Bronze, laiton...), il n'est donc pas possible de modifier la forme de l'un d'eux avec une force qui a pour ordre de grandeur une dizaine de newtons sans ajouter un changement de température critique. Nous pourrions donc aller chercher chez les polymères à mémoire de forme, mais là encore un problème se pose, la plupart sont encore en expérimentation, il est donc impossible de s'en procurer à bas coût et surtout pour produire une poutre.



Nom du matériau	Module de Young (Pa)	Courbure (γ)	1/E (Pa <sup>-1</sup> )
Cu-Zn (Laiton)	1,15E+11	6,53195E-05	8,69565E-12
Cu-Sn (Bronze)	1,24E+11	6,05785E-05	8,06452E-12
Ti-Ni (Nispan)	1,65E+11	4,55257E-05	6,06061E-12
PET	4000000000	0,001877934	2,5E-10
Néoprène	2500000000	0,003004695	4E-10

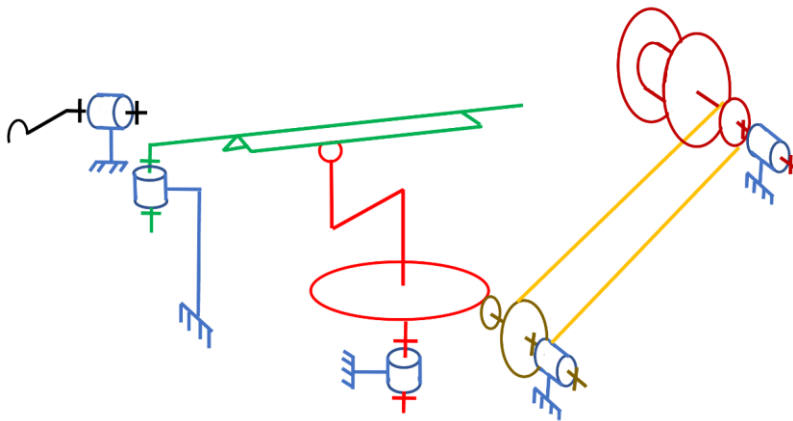
D'après cette modélisation numérique, on peut voir que la famille des polymères est bien celle à considérer dans notre cas. On va donc essayer de se trouver un polymère ayant des caractéristiques similaires à un PMF (polymère à mémoire de forme). D'après nos modélisations, le PET (polytéréphtalate d'éthylène) semble être adapté à notre besoin d'après ses propriétés mécaniques et possède un faible coût, nous le prendrons donc comme matériau de référence pour la poutre qui compose notre solution technique.

### 3) Conclusion du bureau d'étude

Si l'on se réfère aux fonctions FP3-3 et FP1-4 exigées par le client, notre mécanisme répond bien aux besoins de ce dernier. En effet, nous avons bien un mécanisme simple d'utilisation, capable de couper et bloquer le fil à tout instant  $t$  pendant l'utilisation de la bobineuse. De plus, pour faciliter la vie de l'opérateur, les deux opérations sont étroitement liées, ne nécessitant que deux opérations minimales de la part de l'opérateur, abaisser le levier et relever la poutre flexible lorsque le blocage n'est plus nécessaire.

### V- Conclusion générale

On obtient donc un système constitué de plusieurs sous-ensembles dont le schéma cinématique est le suivant :



On ajoute au prix de chaque partie le prix d'une plaque de bois (1690mmx635mm) à 8,75€ (Brico Dépôt). Cette plaque fera office de support pour les bâtis, le matériel électrique et une tige permettant de stocker les bobines pleines et vides. Le coût total de la bobineuse est alors de 586,5€. Le budget est donc respecté.

## Annexes

## ANNEXE 1 : Exprimer clairement les besoins à l'origine de la bobineuse

### ✓ Quoi ?

#### ❖ De quel besoin s'agit-il ?

Stocker du fil préalablement reconstitué / Besoin pédagogique / Besoin commercial pour l'ECAM

### ✓ Qui ?

#### ❖ Quelles sont les personnes concernées par ce besoin ?

Les élèves, les professeurs, les industriels en contrat et les autres écoles ou facultés.

### ✓ Où ?

#### ❖ À quels endroits ?

Sur le campus de l'ECAM et autre campus / Salons étudiants

#### ❖ Dans quelles conditions ce besoin est ressenti ?

Conditions d'apprentissage et démocratisation de l'impression 3D

### ✓ Quand ?

#### ❖ À quels moments ?

Après la création du fil / Lors des projets étudiants / En opération de promotion

#### ❖ À quelle époque est exprimé ce besoin ?

En période scolaire et période de promotion

### ✓ Comment ?

#### ❖ Sous quelles formes ?

Machine non encombrante / Visibilité du mécanisme

#### ❖ Dans quels cas est ressenti le besoin ?

En cas de besoin de fil / Pendant les cours et les opérations de promotion

### ✓ Pourquoi ?

#### ❖ Quelles sont les raisons qui ont fait apparaître ce besoin ?

Gestion en sortie de l'extrudeuse / Visibilité grandissante de l'ECAM / Evolution, démocratisation de l'impression 3D

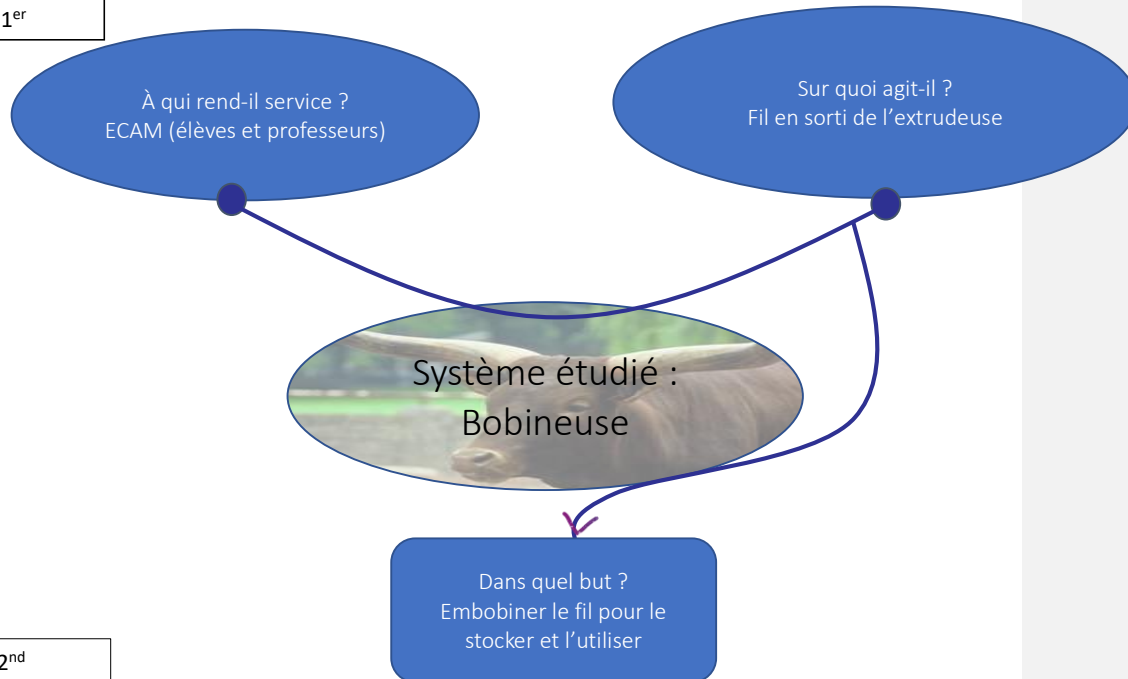
### ✓ Combien ?

#### ❖ Combien de personnes sont concernées par ce besoin ?

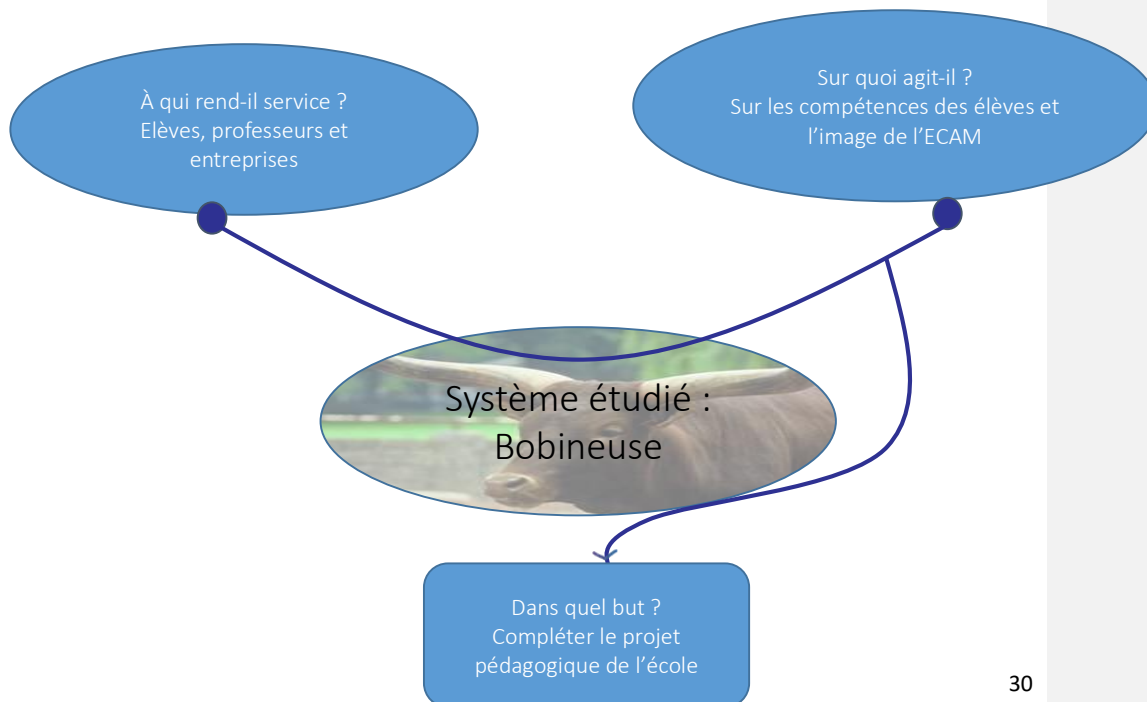
Des milliers (1700 étudiants rien qu'à l'ECAM)

## ANNEXE 2 : La bête à cornes de la bobineuse

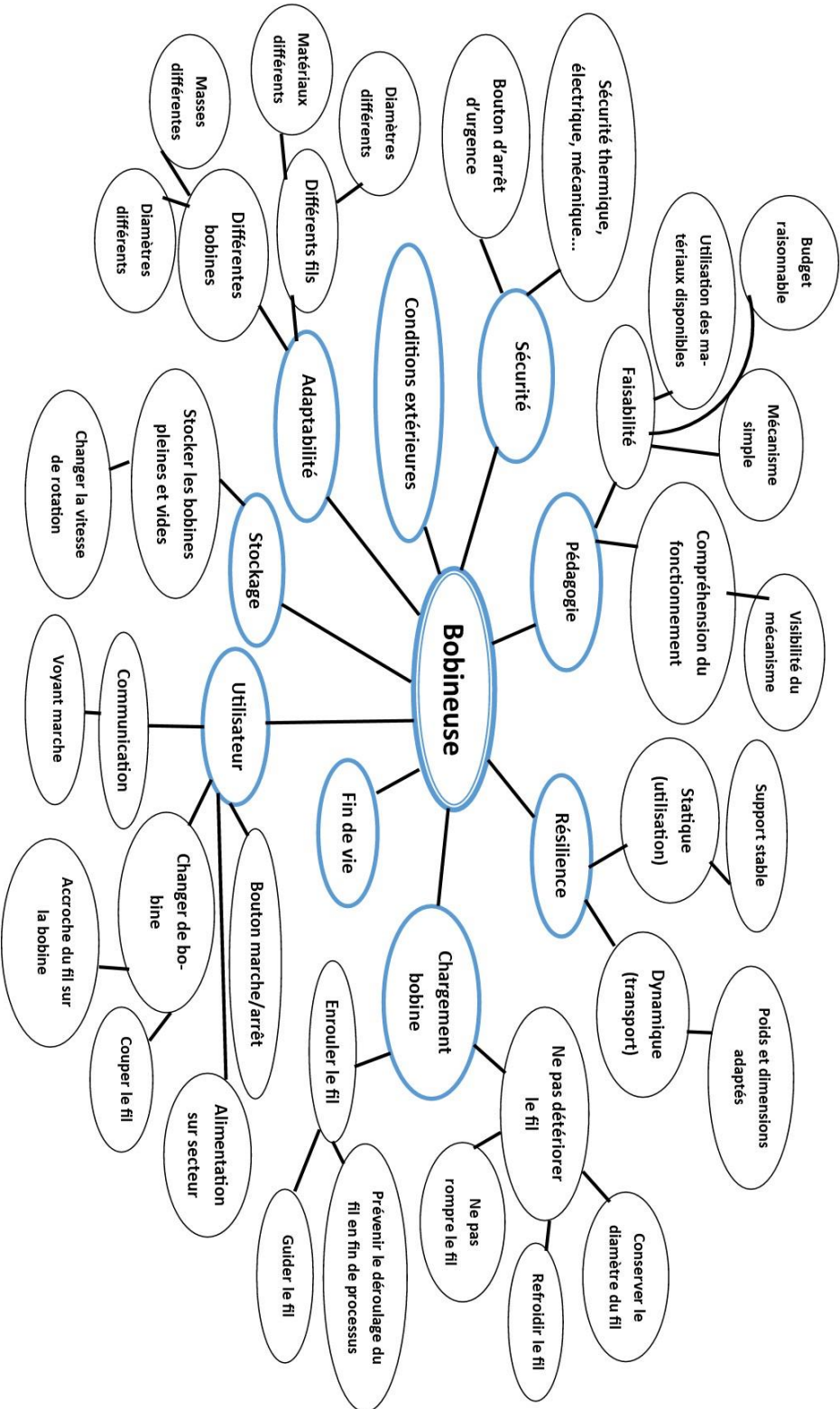
1<sup>er</sup>



2<sup>nd</sup>



Annexe 3 : Diagramme pieuvre de la bobineuse





#### ANNEXE 4 : Liste des fonctions de la bobineuse

No	Désignation	Critère	Niveau	Flexibilité	Commentaire
	<b>La bobineuse doit...</b>				
<b>I</b>	<b>Résilience</b>				
<b>FS1</b>	<b>Etre résiliente en statique</b>				
FS1	Etre stable sur son support				
<b>FS2</b>	<b>Etre résiliente en dynamique</b>				
FP2-1	Etre transportable				
FP2-1.2	Etre facilement préhensible pour le transport				
FP2-1.3	Etre portable par 2 femmes	Poids max.	40 kg	0	
FP2-1.4	Avoir des dimensions inférieures à celles d'une porte	Largeur max.	90 cm	0	
FP2-1.5	Avoir des dimensions en hauteur inférieures à celles d'un véhicule	Hauteur max.	1m	1	
FP2-2	Résister à son environnement en extérieur	Indice de protection	IP 51		source : www.rittal.com
FP2-2.1	Résister à l'eau		Chute verticale de goutte d'eau	1	
FP2-2.2	Résister à la chaleur/lumière ambiante				
FP2-2.3	Résister à la poussière		Poussières	1	
<b>II</b>	<b>Bobinage</b>				
<b>FP1</b>	<b>Embobiner un fil sortant de l'extrudeuse</b>	Vitesse du fil en sortie de l'extrudeuse	15 mm/s		
FP1-1	Accueillir le fil sortant de l'extrudeuse				
FP1-2	Refroidir le fil entrant				
FP1-3	Ne doit pas rompre le fil				
FP1-4	Maintenir le fil enroulé				
FP1-5	Conserver le diamètre du fil	Diamètre	1,75 ou 2,85 mm ±2mm	0	
FP1-6	Guider le fil jusqu'à l'enrouleur				
FP1-7	Accueillir une bobine				
<b>FP2</b>	<b>Embobiner un fil provenant d'une autre bobine</b>				
FP2-1	Pouvoir ajuster la vitesse de rotation du moteur				
<b>FP3</b>	<b>Prendre en compte le changement de bobine</b>				
FP3-1	Prendre en compte l'accroche du fil en début de processus				

FP3-2	Prendre en compte le changement de bobine				
FP3-3	Couper le fil après la fin du processus				
<b>FS3</b>	<b>Communication</b>				
FS3-1	La bobineuse doit permettre à l'utilisateur de contrôler la mise en route et l'arrêt de la machine				
<b>III</b>	<b>Flexibilité</b>				
<b>FP4</b>	<b>Enrouler des fils différents</b>				
FP4-1	Pouvoir s'adapter à plusieurs diamètres de fils	Diamètre	1,75 ou 2,85 mm	0	
FP4-1	S'adapter à des fils de matériaux différents				
<b>FP5</b>	<b>Supporter différentes bobines</b>				
FP5-1	S'adapter à des bobines de diamètres différents	Diamètre	100±1 mm	0	
FP5-2	S'adapter à des bobines de largeur différentes	Largeur	de 48mm à 68mm	0	
FP5-3	S'adapter à des bobines de masses différentes	Masse	jusqu'à 1kg	0	
<b>FP6</b>	<b>S'adapter à différents utilisateurs</b>				
FS4	Simple d'utilisation				
FS11	Etre alimentée sur le secteur domestique				
<b>IV</b>	<b>Pédagogie</b>				
<b>FS5</b>	<b>Etre faisable dans le cadre de notre projet</b>				
FS5-1	Utiliser les matériaux disponibles				
FS5-2	Utiliser des outils usuels				
FS5-3	Respecter un budget raisonnable	Budget max.	750 €	0	
<b>FP6</b>	<b>Faciliter la compréhension</b>				
FP6-1	Rendre le mécanisme visible				
FP6-2	La bobine doit avoir un mécanisme simple				
<b>V</b>	<b>Sécurité</b>				
<b>FS6</b>	<b>Assurer la sécurité des utilisateurs et de l'environnement</b>				

FS6-1	Protéger les utilisateurs des brulures					
FS6-2	Résister à la chaleur du fil					
FS6-3	Résister à la chaleur de l'extrudeuse à proximité					
FS6-4	Protéger les utilisateurs de l'électrisation					
FS6-5	Protéger les utilisateurs du système mécanique					
<b>VI</b>	<b>Stockage</b>					
<b>FS7</b>	<b>Accueillir un stockage de bobine</b>					
FS7-1	La bobineuse doit stocker plusieurs bobines vides avant utilisation					
FS7-2	La bobineuse doit stocker plusieurs bobines peines après utilisation					
<b>VII</b>	<b>Fiabilité</b>					
FS8-1	La bobineuse doit assurer un cycle de bobinage					
FS8-2	La bobineuse doit être réutilisable pour plusieurs cycles de bobinage					
<b>VIII</b>	<b>Fin de vie - entretien</b>					
	Les éléments de la bobineuse doivent être en matériaux recyclables ou réutilisables					
FS9-1						
FS9-2	La bobineuse doit prendre en compte de futurs améliorations					
FS9-3	Pouvoir être démontée avec des outils simples					
<b>IX</b>	<b>Esthétique</b>					
FS10	La bobineuse doit avoir un design simple					

ANNEXE 5 : Schéma cinématique global de la bobineuse

