

---

## **RAPPORT DE PROJET BOBINEUSE**

---

Par **FIL'ECAM3D**

**ARTS ET METIERS PROMO 2022**

Tuteur : Mr. Ernesto André

Membres du projet :

Ambroggi Franc  
Caltran Thibault  
De Salins Hippolyte  
Hugonnot Sarah

Khelifi Antoine  
Masseret Alexandre  
Mangin Simon  
Picou Adrien

**GROUPE A**

## **Sommaire :**

- **Introduction au projet**
- **Prémices du projet**
- **Les différents pôles de la bobineuse :**
  - I) Guidage et découpe**
  - II) Orientation du fil**
  - III) Maintien de la bobine**
  - IV) Moteur**
  - V) Support général**
  - VI) Sécurité et pédagogie**
- **Annexes**

## Introduction du futur projet :

L'année dernière, l'ECAM a mis en place une extrudeuse afin de pouvoir fabriquer son propre fil polymère utilisé pour les imprimantes 3D.

Le but final est de faire des économies quant à l'achat de bobines de fil pour imprimantes 3D mais aussi de participer au recyclage des déchets plastiques (pots de yaourt, emballages, bols...) qui peuvent servir de matière première pour ces fils. Cela ira du nettoyage des déchets plastiques au stockage des bobines avant l'utilisation pour les imprimantes 3D. En outre, l'alimentation en électricité pour être renouvelable (solaire par exemple). Après l'extrusion, une bobineuse est nécessaire pour enrouler le fil proprement sur des bobines et ainsi pouvoir le stocker plus facilement. Cette machine est donc un besoin matériel mais aussi essentiel afin de répondre aux différents besoins. Ce besoin est apparu parce qu'à la sortie de l'extrudeuse, le fil polymère se déposait sur l'embase de l'extrudeuse de manière désorganisée.

Elle devra pouvoir être utilisée par le corps enseignant de l'ECAM mais aussi par les étudiants travaillant sur divers projets. Cette bobineuse se situera au FABLAB sur une chaîne de production juste après l'extrudeuse. Celle-ci pourra aussi être amenée à être déplacée au sein de l'école ou même en dehors selon les cas d'usage. La machine pourra être accessible à tous, que ce soit pour l'observer et comprendre son fonctionnement ou bien l'utiliser en vue de mener divers projets.

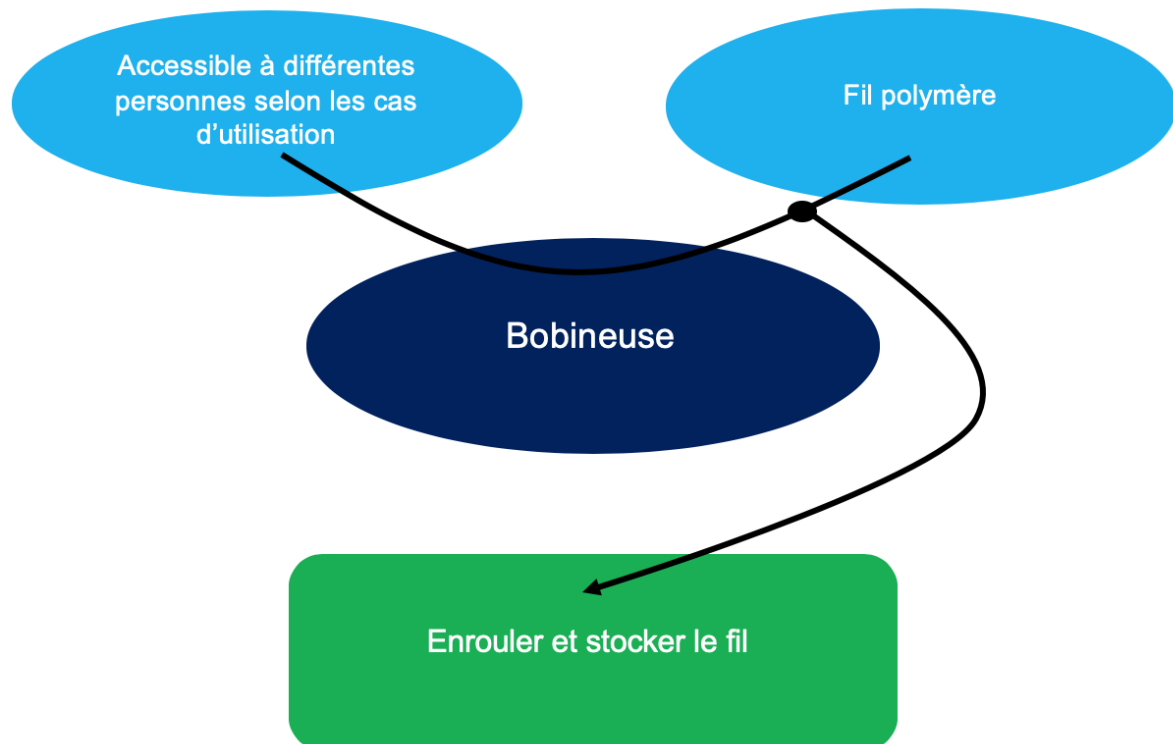
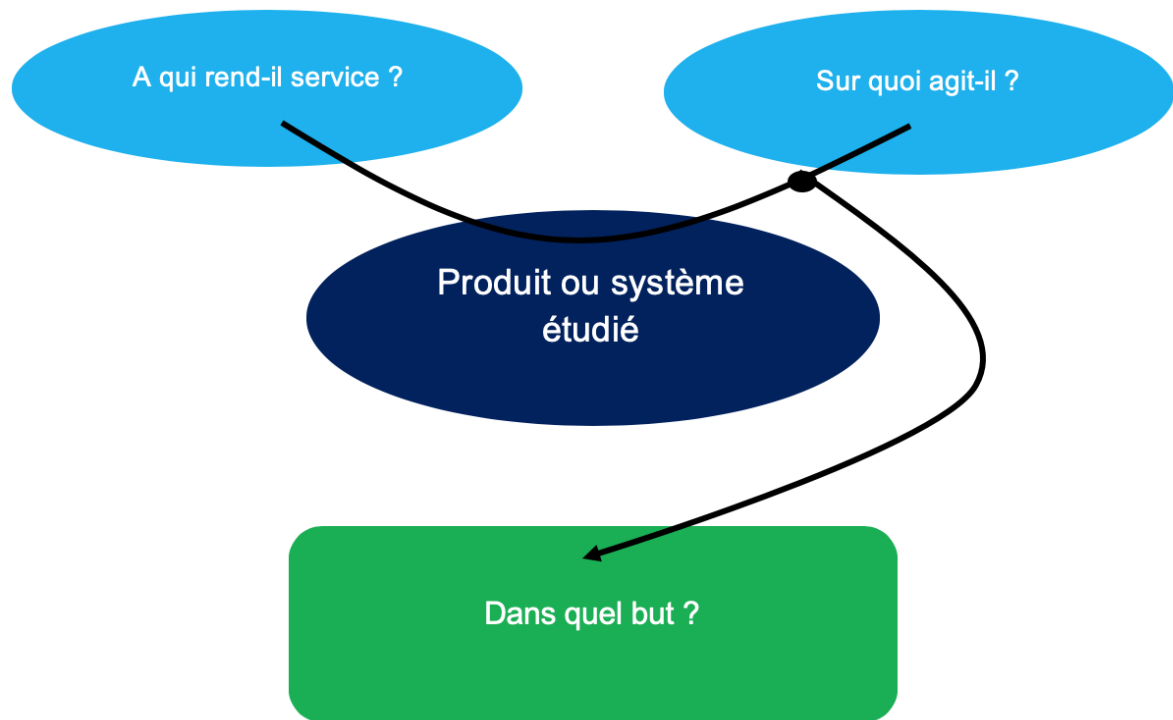
De plus, cette machine est avant tout un projet avec un but pédagogique. Celui-ci doit amener les étudiants à travailler en groupe pour commencer à vivre une première expérience de réflexion sur un projet. Ce groupe de travail devra apprendre à résoudre les différents problèmes jalonnant cette entreprise afin de trouver les meilleures solutions et ainsi concevoir une bobineuse avec un rendement optimal. Il aura la fonction de bureau d'études, de bureau des méthodes et enfin d'atelier de fabrication. Pour cela, les huit étudiants en ECAM3 ARTS ET MÉTIERS, Franc AMBROGGI, Thibaud CALTRAN, Hippolyte DE SALINS, Sarah HUGONNOT, Antoine KHELIFI, Alexandre MASSERET, Simon MANGIN et Adrien PICOU devront piloter un projet, concevoir et dimensionner un système mécatronique, utiliser les outils numériques de CAO et fabriquer la bobineuse à l'aide d'un prototypage rapide. Cette équipe sera encadrée par Mr André ERNESTO, professeur de conception mécanique et CAO.

### Prémices du projet :

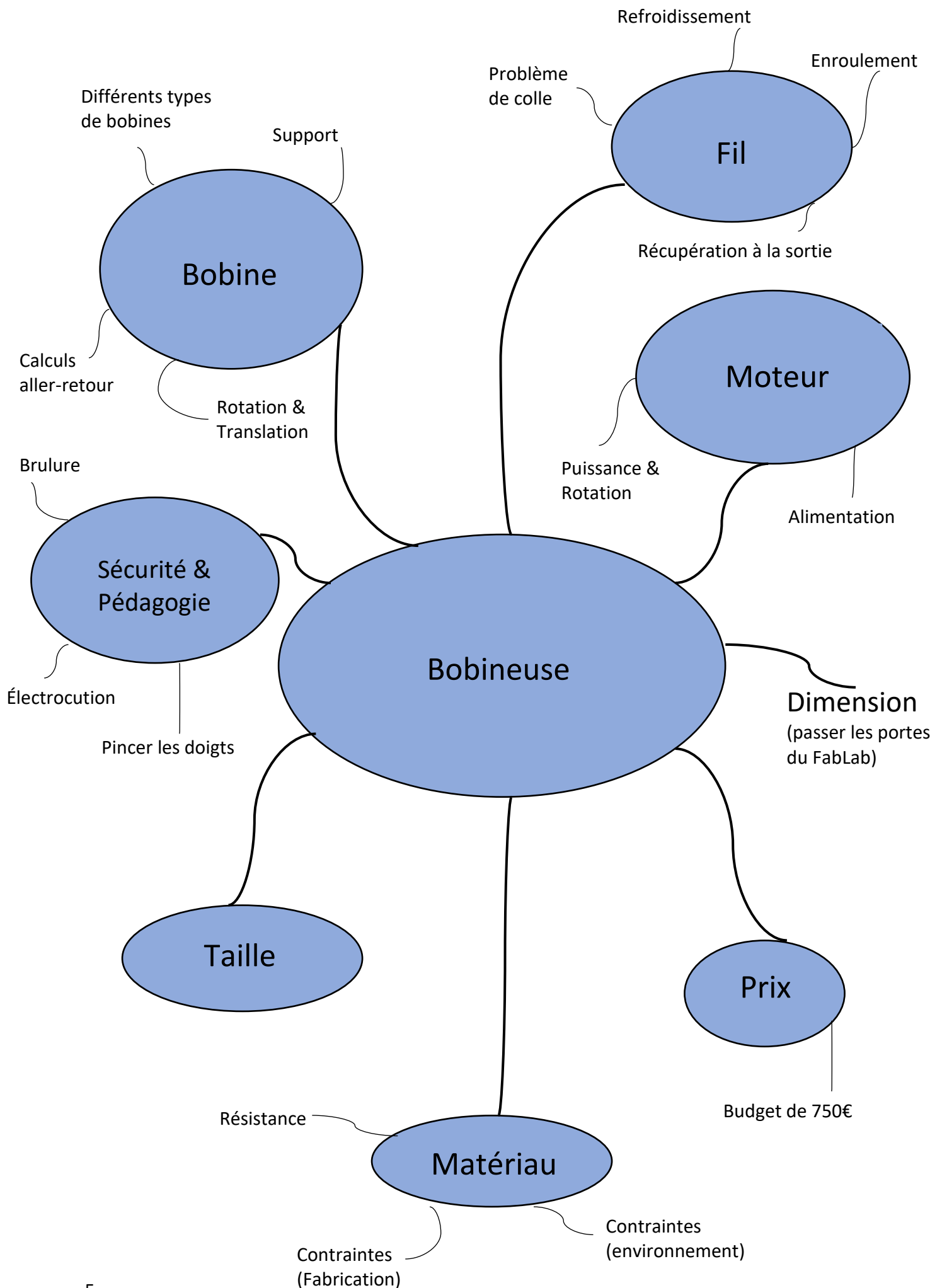
La mise en forme de notre bobineuse s'est faite à l'aide de plusieurs outils connus dans le monde de l'industrie.

Nous avons commencé en créant une bête à cornes puis un diagramme en pieuvre pour pouvoir sortir des fonctions importantes de notre bobineuse. Ces fonctions se sont incorporées dans notre cahier des charges que notre professeur nous a préalablement fourni.

Nous avons un budget de 750€ et après estimation, nous avoisinons les 300€ de frais matériels.



La bête à cornes



No	Désignation (définit une famille ou une sous-famille de fonctions)	Critère (évalue la fonction)	Niveau (définit le niveau de performance attendu)	Flexibilité 6 (ex. 1= Peu négociable)	Commentaire (éventuel)
<b>I Enroulement</b>					
FP1	Réaliser le besoin				
FP1-1	Le produit doit enrouler le fil sur une bobine.		100%	0	
FP1-2	Le produit doit fournir une bobine pleine.		80%	1	
FP1-3	Le produit doit pouvoir enrouler deux diamètres de fil.		70%	1	
FP2	Encadrer le processus				
FP2-1	Le produit doit tendre le fil.		95%	1	
FP2-2	Le produit doit pouvoir enrouler à différentes vitesses.		90%	1	
FP2-3	Le produit doit mettre en rotation la bobine.	Mise en rotation de la bobine	60%	2	
FP2-4	Le produit doit mettre en translation la bobine ou le fil.		60%	2	
FP3	Finaliser le processus				
FP3-1	Le produit doit permettre l'enroulement du fil après sa rupture.		75%	1	
FP3-2	Le produit doit permettre de couper le fil.		100%	0	
FP3-3	Le produit doit empêcher le déroulement de la bobine.		90%	0	
<b>II Sécurité</b>					
	Le produit ne doit pas coincer les doigts de l'utilisateur.	Système simple	100%	0	
	Le produit ne doit pas brûler l'utilisateur.	Pas de source de chaleur	100%	0	
	Le produit doit pouvoir refroidir le fil.	Fil sec	80%	1	Mise en place d'un ventilateur
	Le produit ne doit pas électriser l'utilisateur.	Electrisation	100%	0	
<b>III Pédagogie</b>					
	Le produit doit être facile d'utilisation.	Système simple	70%	2	Aucun outil nécessaire, il suffit juste de fixer le fil sur la bobine
	Le produit doit expliquer son propre fonctionnement.	Fiches explicatives	80%	1	Pour expliquer les différentes étapes du bobinage du fil
	Le produit doit mettre en apparence ses différents mécanismes.	Transparence	60%	2	Pièces transparentes (couvercle supérieur du mandrin)
	Le produit doit être esthétique.	Propreté, clareté	40%	2	
<b>IV Adaptation à l'environnement</b>					
	Le produit doit résister aux conditions extérieures.	Etanchéité	80%	1	Caisson en plexiglas étanche
	Le produit doit fonctionner en extérieur.		80%	1	
	Le produit doit fonctionner au Fablab.		100%	0	Assez fine pour passer à travers les portes
<b>V Praticité et malléabilité</b>					
	Le produit doit être ergonomique.		60%	2	
FP1	Utilisation				
FP1-1	Le produit doit permettre de stocker des bobines pleines et des bobines vides.		60%	2	
FP1-2	Le produit doit permettre de décharger ou charger les bobines.		50%	2	
FP1-3	Le produit doit accepter différentes bobines.	Liaison bobine/arbre	95%	0	Recours à un mandrin avec 3 mors en étoile
FP1-4	Le produit doit pouvoir être associé avec différentes machines.		80%	1	
<b>VI Consignes imposées</b>					
	Le produit doit s'alimenter sur du 12 V.		100%	0	
FP1	Fabrication conforme				
FP1-1	Le produit doit être fabriqué avec les outils/machines du Fablab.		100%	0	Utilisation de l'imprimante 3D pour le mandrin
FP1-2	Le produit doit être un prototype.		100%	0	
FP1-3	Le produit doit coûter au maximum 750 €.		100%	0	
<b>VII Mobilité</b>					
	Le produit doit respecter la contrainte d'encombrement (1m*1m*1m).		100%	0	
	Le produit doit pouvoir passer les portes du Fablab.		100%	0	
	Le produit doit peser au maximum 40 kg.		95%	0	
	Le produit doit être transportable manuellement.	Transport	90%	1	Poignées disposées sur l'embase en bois de la bobineuse
	Le produit doit pouvoir être immobilisé.	Freinage	85%	1	4 roues avec freins
	Le produit doit pouvoir passer des escaliers et terrains en pentes.		90%	1	



## SOUS-ENSEMBLE : GUIDAGE ET DÉCOUPE



## **TABLES DES MATIERES :**

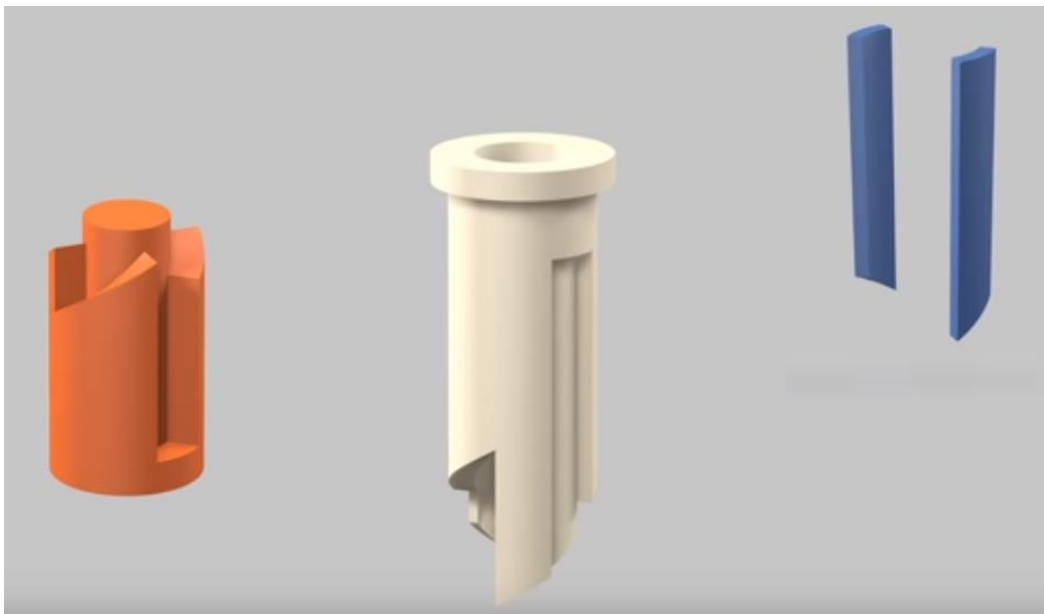
- I) Description du problème**
- II) Principe du stylo rétractable**
- III) Coûts**

## I) Description du problème

Tout d'abord, cette partie de la bobineuse est la première de la chaîne. Ce système est composé de deux pièces : une première pour découper le fil et une autre pour maintenir le fil pour éviter que le fil déjà enroulé sur la bobine se déroule. Ce système peut intervenir en cas de problèmes ou lorsque la bobine est pleine. Il fonctionne manuellement et nécessite donc l'aide du technicien responsable de la machine. Il suffit d'appuyer une première fois sur un bouton pour actionner la machine, le fil va alors être découpé au niveau de la sortie de l'extrudeuse. Le système est alors bloqué dans cette position grâce au principe du « stylo » afin que la pince maintienne le fil. Puis pour enlever la bobine pleine, il suffit qu'une personne maintienne le fil, en le gardant tendu, afin que la pince puisse retrouver sa position initiale en appuyant une seconde fois sur le bouton.

## II) Principe du stylo rétractable

Le mécanisme a été placé pour la première fois dans un Parker Jotter, usine de fabrication de stylo, en 1954 et s'est vendu dans cette seule configuration à plus de 750 millions d'exemplaires. Ce système repose en une géométrie simple mais efficace. L'idée nous est venue car nous souhaitions que le fil soit à la fois maintenu et coupé, et qu'une fois coupé ce dernier reste maintenu.



Vidéo explicative sur YouTube : How a Retractable Ballpoint Pen Works

lien: <https://www.youtube.com/watch?v=MhVw-MHGv4s&t=181s>

### Pourquoi ce système ?

Au départ, nous avons pensé à un mécanisme capable d'effectuer les deux actions simultanément, puis on s'est rendu compte qu'il nous fallait une marge plus grande, pour qu'entre la découpe et le maintien se trouve suffisamment de fil pour ensuite pouvoir le récupérer manuellement. Alors nous avons imaginé un système divisé en deux parties mais qui sont mis en marche en même temps et par le même mécanisme, ici un bouton poussoir.

### **III) Coûts**

- 20\*TÊTE CYLINDRIQUE BOMBÉE LARGE EMPREINTE POZIDRIVE TCBLZ DIN 7985 : 2,06€
- 20\*RONDELLE "Z" ACIER ZINGUÉ BLANC NFE 25513 : 0,17€
- Boîte de 5 ressorts de compression : 6,10€
- 1\*tige de longueur 80mm et de diamètre 10mm ; tige qui sera ensuite percée puis taraudée aux deux extrémités à 5mm : 3,38€
- Barre de métal carrée creuse (section :10\*10mm) et 1 m de longueur pour usinage : 6,10€
- Pylône en acier creux : 20\*20mm et 1m de longueur pour usinage : 7,20€
- 2\*patins de pinçage en plastique à usiner dans une plaque en plastique : 2€
- 1\*cylindre creux (diamètre extérieur : 20mm ; diamètre intérieur : 16mm) : 5€
- 10\*écrou M5 : 0,48€
- 1 pièce intermédiaire à usiner : pièce de métal plate de 2mm d'épaisseur, 15mm de hauteur et de 50mm de longueur, trous percés aux 2 extrémités : 3,90€ : -trou de 10,5mm
- trou de 5,5mm
- 2 pièces imprimées en 3D (pour le maintien et l'amortissement de la lame lors de la découpe)
- Lame à découper dans une plaque de métal puis à aiguiser si besoin
- Tôle en métal : 5,99€ ; dans laquelle on usine 3\*socles cylindriques ( 1mm d'épaisseur) à souder sur les 2 pylônes et le cylindre creux
- Système du stylo à imprimer en 3D

Total : 42,38€

Sources : « commentfer.fr » , « visseriesfixations.fr », « rs-online.com », « leroymerlin.fr »

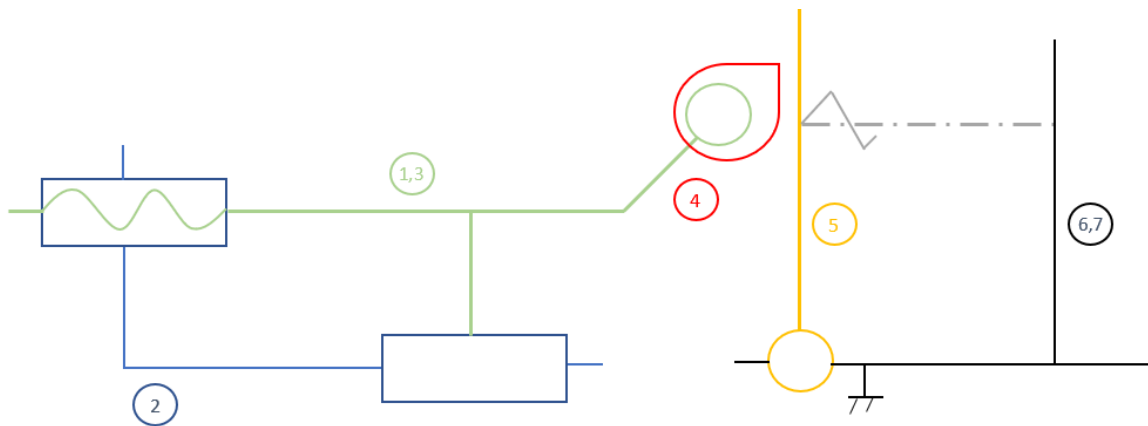


## SOUS-ENSEMBLE : ORIENTATION DU FIL

## **TABLE DES MATIERES**

- I- Schéma cinématique**
- II- Fonctions contraintes et principales du Cahier Des Charges**
- III- Désignations des pièces**
  - Choix matériaux et moyens de fabrication**
  - Dimensionnement**
  - Références des pièces à acheter**
- IV- Analyse budgétaire**
- V- ANNEXE : Dessins**

## I- Schéma cinématique



### Fonctionnement global du sous-ensemble :

Le but de ce sous-ensemble est d'orienter le fil de façon à remplir la bobine uniformément entre ses deux extrémités. Pour cela, le fil est contraint de suivre le mouvement de l'extrémité de la pièce N°5. Cette même pièce est en liaison pivot avec le bâti, ce qui lui permet d'osciller dans un mouvement de balancier. Ce mouvement est contrôlé par la came N°4 qui pousse la pièce N°5 dans un sens et par le ressort N°5a qui la ramène dans sa position initiale. Ce mouvement est également implicitement contrôlé par les pièces N°1,3 et N°2. Celles-ci permettent de choisir la distance séparant la came N°4 de la pièce N°5 et ainsi d'obtenir des oscillations d'amplitudes plus ou moins grande. Le mouvement avance/recul de la came N°4 est autorisé grâce à la combinaison des liaisons hélicoïdale et glissière. Finalement, la bobine à remplir est en rotation autour d'un axe perpendiculaire au fil, tandis que celui-ci balaie l'espace disponible : l'enroulement organisé du fil est assuré.

## **II- Fonctions contraintes et principales du Cahier Des Charges**

### **ENROULEMENT**

#### **Le produit doit pouvoir enrouler deux diamètres de fil.**

Cela est pris en compte dans la variation de vitesse soit de la came, soit de la bobine.

#### **Le produit doit mettre en translation la bobine ou le fil.**

Finalement, le produit met en translation le fil. Plus précisément, la bobine est en rotation autour de son axe et le fil est orienté tout du long de celle-ci. Ce mouvement est possible grâce à la pièce N°4, une came qui vient faire pivoter la pièce N°5 dont le rôle est de soutenir le fil. Ce mouvement de balancier va alors permettre le balayage de la bobine entière par le fil qui va s'enrouler de façon contrôlée et organisée.

### **PEDAGOGIE**

#### **Le produit doit être facile d'utilisation.**

L'utilisateur n'a de contact qu'avec une seule pièce, la N°1 : une tige filetée qui permet la translation du moteur servant à mettre en rotation la came N°4. La translation est provoquée par la rotation de la tige filetée N°1. L'utilisateur n'aura alors d'action que sur cette pièce afin de contrôler la distance entre la came N°4 et la pièce N°5. Un seul degré de liberté lui sera accordé, et même conseillé, la rotation de la pièce N°1.

#### **Le produit doit expliquer son propre fonctionnement.**

Un tableau explique à l'utilisateur jusqu'où viser afin que la came N°4 soit à son bon positionnement en fonction de la taille de la bobine.

#### **Le produit doit mettre en apparence ses différents mécanismes.**

Toutes les pièces principales de ce sous-ensemble sont visibles. La vis N°1, les rails N°2 ainsi que le support moteur N°3 imitent le principe de fonctionnement d'un étau. Le réglage de la distance de la came N°4 est permis grâce à la combinaison des liaisons hélicoïdale (entre les pièces N°1 et N°2) et glissière (entre N°3 et N°2) : la vis N°1 est bloquée en translation dans la pièce N°3 par la vis N°3b positionnée perpendiculairement à celle-ci. Ce principe devient alors très compréhensif lorsque l'on voit le mécanisme en action. Toutes les liaisons mécaniques : hélicoïdale, glissière ainsi que pivot entre N°5 et N°6 sont apparentes.

### **PRATICITE ET MALLEABILITE**

#### **Le produit doit accepter différentes bobines.**

Grâce au réglage possible de la position de la came N°4 par rapport à la pièce N°5, le fil peut balayer la distance souhaitée par l'utilisateur et donc le produit peut remplir plusieurs types de bobine.

### **CONSIGNES IMPOSEES**

#### **Le produit doit s'alimenter sur du 12 V.**

La pièce N°9, le moteur mettant en translation la came s'alimente en Courant Continu 12V.

### III- Désignations des pièces

DESIGNATION DES PIECES			
N° DE LA PIECE	NOM DE LA PIECE	MATERIAUX	MOYEN DE FABRICATION
0	Moteur		
1	Tige filetée	Acier	TCN
1b	Écrou		
2	Rails	Acier	TCN
3	Support moteur	Acier	TCN
3b	Vis		
4	Came	Plastique	Imprimante 3D
4b	Clavette		
5	Guidage fil	Bois	Découpe laser
5a	Ressort		
5b	Joint		
6	Support pivot	Acier	TCN
7	Support ressort	Bois	Découpe laser
7b	Vis		
8	Arbre moteur	Acier	TCN
8b	Écrou		

#### Pièce N°0 : Moteur

On sait qu'un aller-retour du fil sur la bobine équivaut à un tour complet de la came. De plus, durant un tour complet de la came, la bobine doit effectuer  $\frac{l}{\text{diamètre du fil}}$  tours. Donc la vitesse de rotation de la came est proportionnelle à celle de la bobine. Pour une vitesse  $w_{\text{bobine}}$  fixée,  $w_{\text{came}} = \frac{w_{\text{diamètre du fil}}}{l}$ .

REFERENCE D'ACHAT : [https://www.amazon.fr/DOLITY-Moteur-Courant-Continu-Engrenages/dp/B07HWTQMG8?fbclid=IwAR2wXtBbxBXRdPk0sRT0U1mdRVEnpcSFLuDngN\\_V-nJ38fLLoWo\\_wwpDHks](https://www.amazon.fr/DOLITY-Moteur-Courant-Continu-Engrenages/dp/B07HWTQMG8?fbclid=IwAR2wXtBbxBXRdPk0sRT0U1mdRVEnpcSFLuDngN_V-nJ38fLLoWo_wwpDHks)

#### Pièce N°1b et Pièce N°8b : Écrous

REFERENCE D'ACHAT : <https://fr.rs-online.com/web/p/ecrous-hexagonaux/1224405/>

#### Pièce N°3b : Vis

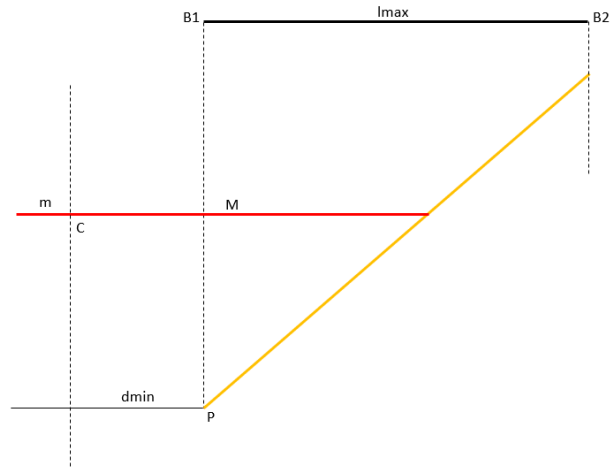
REFERENCE D'ACHAT : <https://fr.rs-online.com/web/p/vis-a-six-pans/4838269/>



## Pièce N°4 : Came

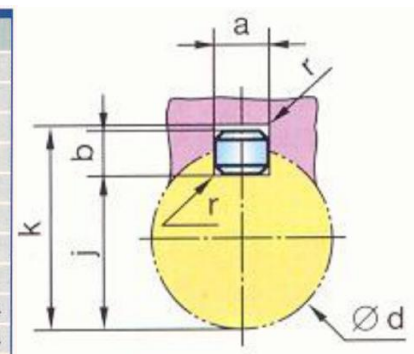
Dans un premier temps, on se place à  $d_{min} = 10\text{mm}$  avec une bobine de longueur maximale  $l_{max}$ . Ainsi on pose  $m = 8\text{mm} < d_{min}$  puis on calcul distance  $M = d_{min} + \frac{l_{max}}{2}$  d'après le théorème de Thalès.

Dans un second temps, une fois la came fixée avec  $m$  et  $M$ , on calcul  $d$  pour un  $l$  donné :  $d = M - \frac{l}{2}$ .



## Pièce N°4b : Clavette

d	a	b	s	j	k	d	a	b	s	j	k
de 6 à 8 inclus	2	2	0,16	d - 1,2	d + 1	58 à 65	18	11	0,6	d - 7	d + 4,4
8 à 10	3	3	0,16	d - 1,8	d + 1,4	65 à 75	20	12	0,6	d - 7,5	d + 4,9
10 à 12	4	4	0,16	d - 2,5	d + 1,8	75 à 85	22	14	1	d - 9	d + 5,4
12 à 17	5	5	0,25	d - 3	d + 2,3	85 à 95	25	14	1	d - 9	d + 5,4
17 à 22	6	6	0,25	d - 3,5	d + 2,8	95 à 110	28	16	1	d - 10	d + 6,4
22 à 30	8	7	0,25	d - 4	d + 3,3	110 à 130	32	18	1	d - 11	d + 7,4
30 à 38	10	8	0,4	d - 5	d + 3,3	130 à 150	36	20	1,6	d - 12	d + 8,4
38 à 44	12	8	0,4	d - 5	d + 3,3	150 à 170	40	22	1,6	d - 13	d + 9,4
44 à 50	14	9	0,4	d - 5,5	d + 3,8	170 à 200	45	25	1,6	d - 15	d + 10,4
50 à 58	16	10	0,6	d - 6	d + 4,3	200 à 230	50	28	1,6	d - 17	d + 11,4



Pour le calcul de la clavette, on choisit un modèle uniforme de pression au contact entre la clavette et le moyeu : Pour tout MCS,  $p(M) = p = \frac{F}{S}$ .

Calcul de la pression de contact :  $\frac{d}{2} \times F = C$  d'où  $F = \frac{2C}{d}$  dans l'hypothèse où les dimensions de la clavette sont petites devant le diamètre.

Avec  $d$  : diamètre de l'arbre

$h$  : hauteur de la clavette en contact avec le moyeu et  $h = j + b - d$

$l$  : longueur de la clavette

$b$  : hauteur de la clavette

$j$  : cote de position du fond de la rainure

Ainsi  $S = l \times h = l (j + b - d)$ . Soit, en tenant compte du critère :  $l > \frac{2C}{p_{adm} \cdot d(j+b-d)}$ .

**REFERENCE D'ACHAT :** <https://fr.rs-online.com/web/p/products/3023999/>

## Pièce N°5a : Ressort

**REFERENCE D'ACHAT :** <https://fr.rs-online.com/web/p/ressorts-de-compression/0821251/>

## Pièce N°5b : Joint

**REFERENCE D'ACHAT :** <https://www.conrad.fr/p/joint-axxatronic-sa8-noir-1-pcs-1279804>

**Pièce N°7b : Vis**

**REFERENCE D'ACHAT :** <https://fr.rs-online.com/web/p/vis-a-six-pans/2328423/>

**IV- Analyse budgétaire**

N° DE LA PIECE	NOM DE LA PIECE	COUT A L'UNITE (€)	PRIX AU PAQUET (€)
0	Moteur	13.13	13.13
1	Tige filetée		
1b	Ecrou	0.17	10.18
2	Rails		
3	Support moteur		
3b	Vis	0.152	18.19
4	Came		
4b	Clavette	0.34	3.40
5	Guidage fil		
5a	Ressort	0.278	2.78
5b	Joint	2.24	2.24
6	Support pivot		
7	Support ressort		
7b	Vis	0.265 x 2	15.89
8	Arbre moteur		
8b	Ecrou	0.17	---
TOTAL		16.98	65.81

**V- ANNEXES**

Dessin d'ensemble « Sous-ensemble orientation du fil » : 4 feuilles A3

Dessins de chaque pièce du sous-ensemble : 8 feuilles A4



## SOUS-ENSEMBLE : MAINTIEN DE LA BOBINE

## **TABLES DES MATIERES :**

- I) Analyse globale de la solution retenue**
- II) Support et rotation de l'arbre**
- III) Arrêt en translation et en rotation du mandrin**
- IV) Étude du mandrin, support de la bobine**

## I) Analyse globale de la solution retenue :

Afin de pouvoir à la fois maintenir la bobine et s'adapter à différents diamètres de bobines, nous avons décidé de mettre en place un mandrin qui grâce à son système de mors en étoile permettra de répondre à ces deux exigences capitales.

Cet ensemble de pièces sera composé de :

- 3 mors,
- 3 boutons moletés avec pignon,
- Un couvercle supérieur,
- Un couvercle inférieur
- Une pièce complexe cylindrique avec d'un côté des rainures formant une spirale et de l'autre une face dentée.
- Un support maintenu par deux vis sur lequel sera déposé le moteur,
- Deux piliers maintenus par deux vis chacun.

Le moteur sera disposé sur un plateau maintenu par des vis à bois à tête cruciforme de type FZ et entraînera en rotation un arbre qui passera à travers deux piliers. Au bout de cet arbre, nous trouverons le mandrin qui sera arrêté en rotation mais aussi en translation à l'aide d'une clavette et d'un écrou à encoche.



Vis à bois à tête cruciforme

## II) Support et rotation de l'arbre :

L'arbre de sortie du moteur aura un diamètre de 10mm et entraînera en rotation grâce à un méplat mâle dans l'arbre principal de 30mm. Un méplat femelle sera réalisé dans l'arbre principal avec une fraise puis une broche. Il sera disposé sur un support en bois.

Afin d'assurer le maintien de l'arbre et d'éviter un problème de porte-à-faux qui pourrait être fatal à la bobineuse, celui-ci sera soutenu par deux piliers qui seront réalisés en bois. Les piliers seront fixés sur l'embase (elle-aussi en bois) avec des vis à bois à tête cruciforme de type FZ.

Achat : 6 vis tête fraisée pozidrive vis bois VBA TFZ acier zingué bichromaté 4.5x25

Prix unitaire à 0,0240 € (0,03€ TTC), REF : VBATFZ04.5/025BI.

Pour assurer la rotation de l'arbre, il y aura deux coussinets en bronze qui seront disposés à l'intérieur des deux piliers.

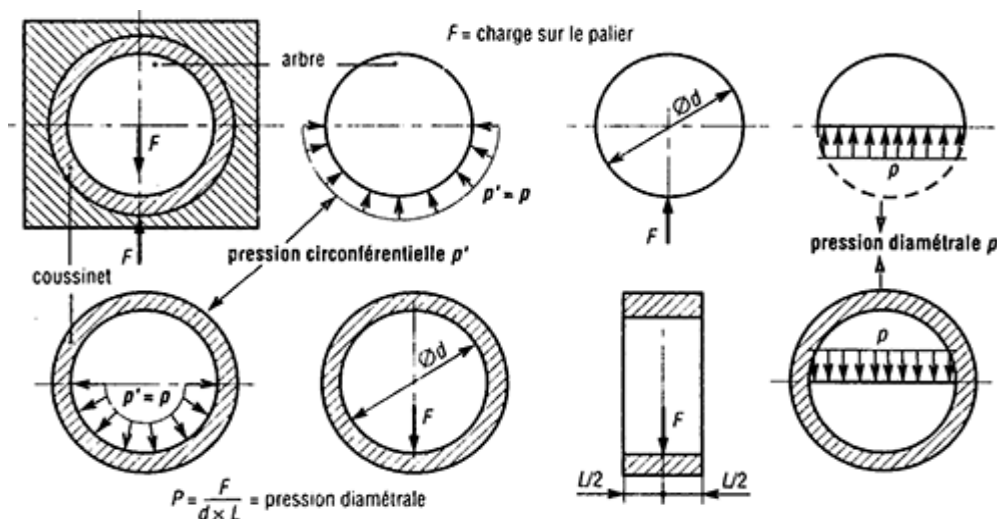
L'arbre aura un diamètre de 30mm au début, puis 42mm entre les deux arbres, puis à nouveau 30mm et enfin 10mm sur la surface où sera déposé le mandrin. Il sera réalisé en acier C40 ( $350\text{MPa} \leq R_e \leq 460\text{MPa}$ ). C'est un acier pour trempe + revenu et pour forgeage non allié avec une teneur moyenne en carbone (0,40% de carbone).

Au niveau du dimensionnement des coussinets, en s'appuyant sur la norme ISO, ils auront un diamètre de 40mm et une longueur de 25mm pour un arbre de diamètre 30mm.



Coussinet utilisé  
pour la bobineuse

Pour le calcul des coussinets (en régime non hydrodynamique), il faut déterminer la pression diamétrale (en MPa ou  $\text{N/mm}^2$ ) :  $p = \frac{F}{d \times L}$  avec F la charge sur le palier (en N), d le diamètre de l'alésage (en mm) et L la longueur du coussinet (en mm).



Pression diamétrale p et  
pression circonférentielle p'

La pression diamétrale  $p$  répartie uniformément sur la surface diamétrale  $d \times L$  est égale à la pression circonférentielle  $p'$  répartie uniformément sur une demi périphérie.

Avec la pression diamétrale  $p$  calculée, nous pourrions déterminer le produit  $pV$  qui permet de mesurer la capacité du matériau à supporter l'énergie engendrée par le frottement. S'il y a dépassement, la température du palier lisse augmente et il y a risque de destruction :

$$pV = \text{pression diamétrale (N/mm}^2\text{)} \times \text{vitesse circonférentielle (m/s)}$$

Où  $v = \frac{\pi Nd}{60}$  avec  $N$  la vitesse de rotation ( $\text{tr.min}^{-1}$ ) et le diamètre de l'arbre.

Nous avons fait le choix de prendre des coussinets en bronze fritté. Le produit  $pV$  admissible doit donc être environ égal à  $1,8 \text{ (N/mm}^2\text{)} \cdot \text{(m/s)}$ .

Au niveau des tolérances, le coussinet doit être monté serré sur la bague extérieure (tolérance H7) et glissant sur l'intérieur (tolérance f7). Il pourra être monté à la presse.

Calculs :

$$p = \frac{\text{Charge radiale}}{\text{Surface projetée}}$$

Avec l'abaque, pour  $d=30\text{mm}$  et  $n= 600 \text{ tr/min}$ , on a  $p \approx 1,8\text{MPa}$ .

On a de plus :  $V = r \times \omega = 30 \cdot 10^{-3} \times 600 \times \frac{\pi}{60} = 1 \text{ m.s}^{-1}$ .

Pour le produit  $pV$  ;

$$\begin{aligned} pV &= 1,8 \text{ Nm/mm}^2\text{s} \\ p &= \frac{F}{S} = \frac{F}{d \times L} \text{ avec } F = 1500\text{N}, \\ pV &= \frac{F \times V}{d \times L} = 1,8 < 2, \\ \rightarrow L &> \frac{1500 \times 1}{30 \times 2} = \mathbf{25 \text{ mm}} \end{aligned}$$

On prend  $L = 25 \text{ mm}$ .

Désignation : Coussinet cylindrique fritté 30x40x25

Achat : Coussinet cylindrique auto-lubrifiant en bronze fritté

REF : FP38221, 7,2213€ (8,6656 € TVA incluse).

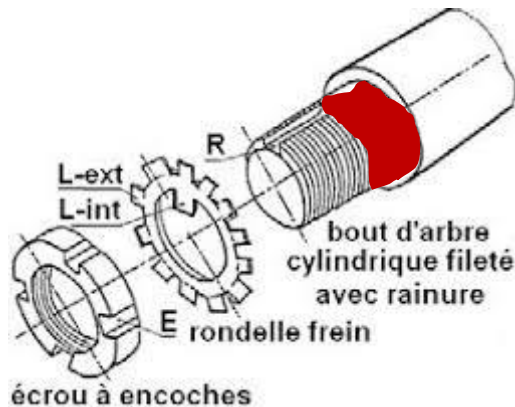
### III) Arrêt en translation et en rotation du mandrin :

Afin d'arrêter le mandrin en rotation et en translation (donc réaliser une liaison encastrement), nous avons choisi comme solution d'arrêter le et en translation à l'aide d'un épaulement à gauche et d'un écrou à encoches à droite avec rondelle de sécurité et en rotation à l'aide d'une clavette parallèle.


L'écrou à encoches a pour fonction d'immobiliser axialement le mandrin à droite. Un problème majeur est que si on vient serrer l'écrou à encoches à droite, l'arbre va vouloir sortir par la gauche. Pour pallier ce problème, nous avons décidé de réaliser un épaulement sur l'arbre entre les deux piliers en bois. Le diamètre sera alors de 42mm.

Les encoches seront utiles pour venir y replier les extrémités de la rondelle frein pour empêcher le desserrage.

Ayant un diamètre de 12mm en bout d'arbre et pour respecter la norme ISO, nous avons décidé de mettre un écrou à encoches de diamètre 12mm, de pas 1mm et d'épaisseur 4mm. La rondelle frein aura alors une épaisseur de 1mm et l'encoche fera 3mm de large pour 1,5mm de haut.



Montage d'un écrou à encoches avec rondelle frein sur arbre fileté avec rainure

 : Surface occupée par le

La rainure sera réalisée avec une fraise à rainurer et le filetage avec un outil à tarauder.

#### Achat :

- Écrou de serrage à encoches série KM (KM1 c'est-à-dire M12 avec un pas de 1mm) en acier 40 kg/mm<sup>2</sup>, prix ; 6,14€ HT (7,31€ TTC), REF : 95018002.
- Rondelle-frein MB1-SKF (diamètre 12mm), prix; 1,56 € TTC, REF ; 3663952263397

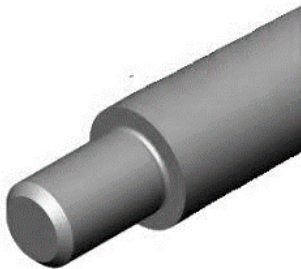


Pour arrêter l'arbre en translation à droite, un épaulement sera réalisé avec une diminution du diamètre de l'arbre de 30 à 10mm. Cet épaulement évite d'avoir un contact entre le pilier de droite et le mandrin ce qui pourrait entraîner une usure du mandrin.

Les différents diamètres de l'arbre seront réalisés à partir d'un lopin cylindrique de diamètre 35mm que l'on viendra usiner avec un outil à charioter-dresser pour obtenir les différents diamètres et ainsi avoir les épaulements. On viendra ensuite découper ce lopin de 40mm de long avec un outil à tronçonner.

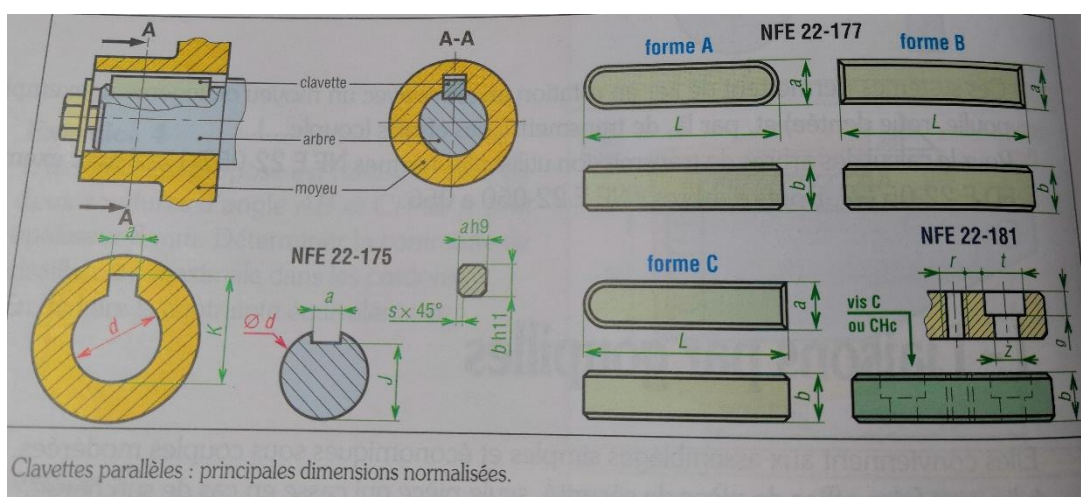
#### Achat :

- Barre en acier rond INOX 304L diamètre 30mm/longueur 1000mm, prix ; 51,70 € (62,04 € TCC), REF : 304LD30.



Épaulement réalisé sur un arbre

Enfin pour assurer l'arrêt en rotation, il faudra mettre une clavette en acier. Pour un arbre de diamètre 10mm il faudra une clavette de hauteur 4mm et de largeur 4mm d'après la norme ISO.



Dimension des clavettes parallèles

La clavette sera désignée par sa désignation :

**Clavette parallèle, forme A, 4x4xL, NF E 22-177**

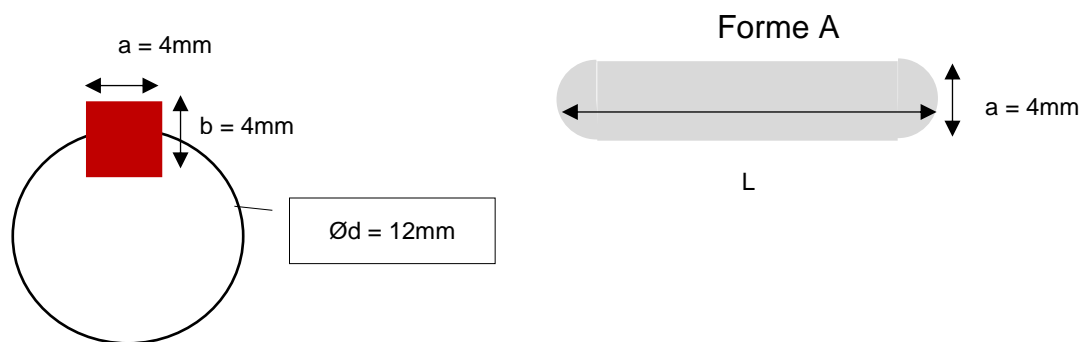
Celle-ci doit respecter la condition suivante :  $R_r \geq 600\text{MPa}$ .

Comme les clavettes sont en acier, on prendra un acier C45 ( $630\text{MPa} \leq R_r \leq 850\text{MPa}$ ). C'est un acier pour trempe + revenu et pour forgeage non allié avec une teneur moyenne en carbone (0,45% de carbone).

Au niveau des tolérances, nous aurons une tolérance D10/h9 entre le moyeu et la clavette, une tolérance H9/h9 entre l'arbre et la clavette et enfin une tolérance H7/g6 entre l'arbre et le moyeu. Cela correspond à un ajustement serré de la clavette sur l'arbre et « glissant juste » entre la clavette et le moyeu.

La rainure de la clavette sera réalisée avec une fraise à rainurer.

Calculs



Calcul de la pression de matage car plus restrictif,

- $p = \frac{F}{S} = \frac{4C}{L.b.D}$  avec  $F = \frac{C}{R}$  et  $S = L \times \frac{b}{2}$
- $p < p_{adm}$
- Donc  $\frac{4C}{L.b.D} < p_{adm} \rightarrow L > \frac{4C}{L.b.D}$

Pour un montage fixe avec de bonnes conditions de fonctionnement, on a :  
 $p_{adm} = 100\text{MPa}$ .

Caractéristiques moteur :

- $P = 10\text{W}$ ,  $N = 600 \text{ tr.min}^{-1}$ ,
- $\omega = 600 \times \frac{\pi}{30} = 62,8 \text{ rad.s}^{-1}$ ,
- $P = C \times \omega = 0,16 \text{ Nm}$ .

$$\rightarrow L > \frac{4 \times 0,16 \cdot 10^3}{4 \times 12 \times 100} \rightarrow L > 0,13 \text{ mm}$$

On veut  $\frac{L}{D} < 1,5$  donc  $L < 18\text{mm}$ .

On prend **L = 18mm** (longueur normalisée).

Désignation : **Clavette parallèle, forme A, 4 x 4 x 18, NF E 22-177**

Achat : Clavette parallèle dim-6685, type haut en acier (C45)

REF : FP40469, 0,0953€ (0,1144€ TVA incluse).

#### IV) Etude du mandrin, support de la bobine :

La bobine sera maintenue par un mandrin où toutes les pièces seront en plastique d'impression 3D. Habituellement utilisé sur des tours à commande numérique ou des fraiseuses, cet ensemble de pièces permettra de s'adapter aux différents diamètres de bobines. Il aura un diamètre de 98mm et une hauteur de 45mm.

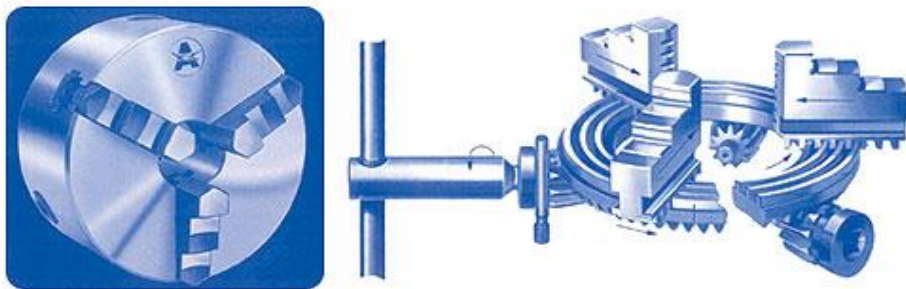


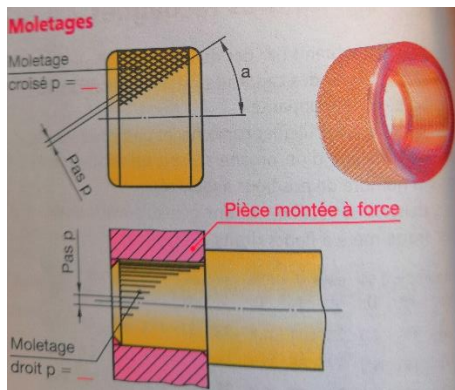
Schéma expliquant le fonctionnement d'un mandrin à trois mors en étoile

##### Principe de fonctionnement :

- Un mandrin est composé de :
  - 3 mors,
  - 3 boutons moletés avec pignon,
  - Un couvercle supérieur,
  - Un couvercle inférieur
  - Une pièce complexe cylindrique avec d'un côté des rainures formant une spirale et de l'autre une face dentée.
- En tournant le bouton moleté à la main, le pignon va entrer en rotation et engrener avec la surface dentée de la pièce complexe. Cette pièce entrera alors elle-aussi en rotation. Sur sa surface rainurée en spirale, il y aura trois mors rainurés sur la surface inférieure. Par ce mouvement de rotation, les trois mors disposés en étoile se translateront soit vers l'avant ou soit vers l'arrière selon la rotation du bouton moleté.

Normalement, ce ne sont pas des boutons moletés qui sont utilisés dans un mandrin mais des vis avec pignons. Nous avons préféré choisir des boutons moletés puisqu'il n'y a pas besoin d'outils (clé...) pour desserrer les mors à l'inverse des vis avec pignons. Cela évite notamment une perte de temps à chercher l'outil si celui-ci n'a pas été remplacé à sa place habituelle.

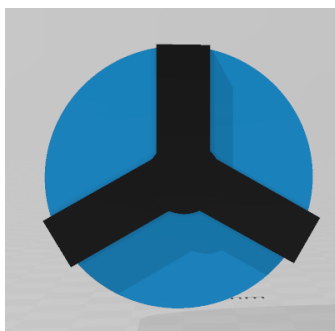
Le moletage permet d'assurer une adhérence suffisante pour la manœuvre d'une pièce à la main. On mettra un moletage droit avec un angle d'inclinaison  $\alpha$  de  $0^\circ$ .



Moletage

Ces boutons moletés avec pignon seront réalisés par impression 3D au FabLab de l'ECAM Lyon. Le diamètre des pignons à denture droite sera de 20mm avec un module  $m=1,3\text{mm}$  donc un nombre de dents  $Z_1=15$  dents.

Le couvercle inférieur sera lui aussi réalisé par impression 3D et présente une rainure de clavette. Pour le couvercle supérieur (qui sera transparent pour expliquer le fonctionnement du madrin), il sera plus complexe à réaliser par impression 3D. Bien sûr il aura lui-aussi une rainure de clavette mais aura de plus trois rainures disposées en étoiles et concourantes vers le centre du couvercle afin d'y accueillir les trois mors. Un alésage de diamètre 10mm sera réalisé dans chaque couvercle pour assurer le passage de l'arbre ainsi que la rainure de clavette.



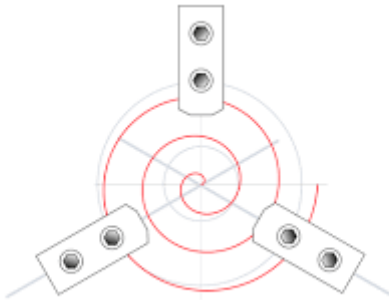
Vue de face du couvercle supérieur avec l'alésage et les trois rainures

Ces deux couvercles seront maintenus par l'épaulement à gauche et l'écrou à encoches à droite.

Concernant les trois mors, ce seront de simples parallélépipèdes et non des mors en escalier (utilisés dans la plupart des cas). L'angle  $\phi$  entre chaque mors sera de  $120^\circ$ .



Mors en escalier



Disposition des mors

Ces trois mors seront réalisés par impression 3D.

Les mors feront 10mm de large, 20mm de haut et 7mm d'épaisseur.

Concernant la dernière pièce, elle sera réalisée elle-aussi par impression 3D du fait de sa complexité. Le diamètre extérieur sera de 92mm et celui intérieur sera de 38mm.

Sur la face inférieure de celle-ci, avec un module de 1,3mm, un diamètre moyen de  $d_{\text{moyen}} = \frac{(92+38)}{2} = 204\text{mm}$  donc un pas  $p = \pi \times m = 4.09\text{mm}$ , on obtient un nombre de dents  $Z_2 = 50$  dents.

Le fait d'avoir un mandrin réalisé par impression 3D permettra d'avoir un ensemble léger ce qui permettra de ne pas trop solliciter l'arbre.

### Calculs :

Calcul du couple exercé sur le mandrin, avec  $P = 10\text{W}$  et  $N = 600\text{tr.min}^{-1}$ ,

$$C = \frac{P}{\omega} = \frac{10}{600 \times \frac{\pi}{30}} = \mathbf{0,16\text{ Nm.}}$$

Calcul de la vitesse du mandrin,

$$v = r \times \omega = 46.10^{-3} \times 600 \times \frac{\pi}{30} = \mathbf{2,8\text{ m.s}^{-1}}$$

Calcul de l'effort exercé sur un mandrin,

$$P = F \times v \rightarrow F = \frac{P}{v} = \frac{10}{2,8} = \mathbf{3,57\text{ N}}$$

Calcul de la masse du mandrin,

$$F = m \times g \rightarrow m = \frac{F}{g} = \frac{3,57}{9,81} = 0,364\text{ kg} = \mathbf{364\text{ g}}$$

Le mandrin aura alors une masse de 364g.



## SOUS-ENSEMBLE : MOTEUR

## **TABLES DES MATIERES :**

- I) Le moteur principal**
- II) Le moteur pour la came**



## I) Le moteur principal

Fonction à remplir :

Mise en rotation de l'arbre sur lequel sera positionner la bobine

Solution choisie :

L'arbre sur lequel sera positionner la bobine sera en liaison encastrement avec l'arbre d'un moteur électrique à courant continu (avec balai).

Choix du moteur :

Pour dimensionner le moteur, il faut déterminer la vitesse à laquelle il devra tourner le couple nécessaire. De plus notre système doit pouvoir accueillir un large panel de bobines, présentant des rayons intérieurs et des rayons maximums différent. Pour sélectionner le moteur nous avons donc pris l'échantillon de bobines disponible pour déterminer les dimensions extrêmes que pouvait avoir une bobine. Nous avons donc créé un tableau Excel nous permettant d'avoir les cotations d'une bobine aux dimensions minimales et les dimensions d'une bobine maximale. Les valeurs de la colonne min sont les plus petites valeurs auxquelles on a retranché 10%, et, les valeurs de la colonne Max sont les valeurs les plus élevés auxquelles on a ajouté 10%.

<b>Bobine</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>min</b>	<b>Max</b>
<b>paramètres</b>						
<b>largeur (cm)</b>	4,7	4,1	5,5	6	3,69	6,6
<b>rayon de fixation (cm)</b>	2,27	2,25	2,255	2,28	2,025	3,8
<b>rayon intérieur (cm)</b>	5,25	3,4	4,5	5	3,06	5,775
<b>rayon extérieur (cm)</b>	8,85	9	9,1	9	7,965	10,01

La vitesse d'extrusion maximale est de 15mm/s on en déduit la vitesse de rotation maximale en la calculant pour le plus petit rayon possible :  $\frac{v}{r} = \omega$

Ce qui nous donne :  $\frac{1,5}{3,06} = 0,49$  rad/s. Ainsi le moteur doit-il pouvoir faire tourner une bobine pleine d'un poids d'environ 1kg, à une vitesse de rotation de maximale de 0,5 rad/s.

Le poids de la bobine ne nous permet pas de déterminer le couple nécessaire

directement. En effet seules les forces de frottement dans le moteur et les frottements de l'air s'opposent à la rotation.

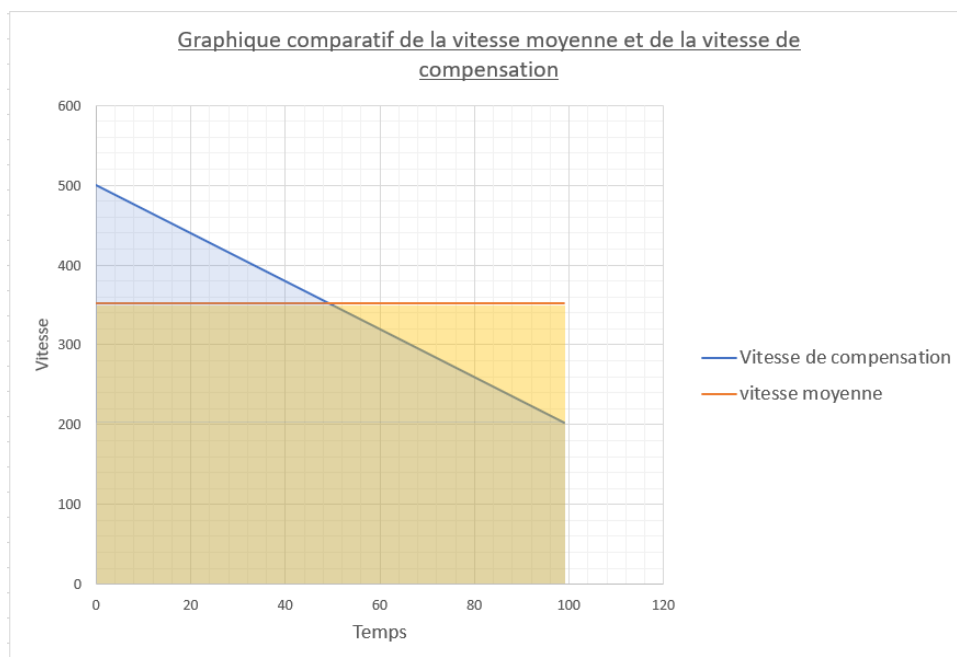
Nous avons donc choisi le moteur suivant proposant une puissance nominale de 10 w permettant de faire tourner notre arbre à une vitesse de 0,5 rad/sec tout en ayant un couple de 20 Nm largement suffisant pour entrainer l'arbre en rotation. En effet un tel couple permettrait de soulever une charge de 2 Kg avec un bras de levier de 1m.



Il s'agit du *Baoblaze XD-37GB520*. On a également choisi ce moteur pour son arbre présentant un méplat, ce qui simplifie la fabrication d'une liaison encastrement avec l'arbre sur lequel sera fixé la bobine.

#### Sous fonction de contrainte :

La vitesse du moteur doit s'adapter à la vitesse d'enroulement du fil qui augmente à mesure que la bobine se remplit. Effectivement la quantité de fil enroulé en un tour de bobine est plus importante lorsque la bobine est presque pleine que lorsque la bobine



est vide. Ainsi la vitesse de rotation doit diminuer à mesure que la bobine se remplit de sorte à conserver une vitesse linéaire (vitesse d'enroulement) constante.

#### Solution choisie :

Nous avons trouvé un moyen de contourner le problème et de ne pas avoir à mettre en œuvre un système faisant varier la vitesse du moteur. Pour ce faire nous avons choisi de faire tourner le moteur qui entraîne la bobine à la valeur moyenne des vitesses maximales et minimales. Ainsi en début de bobine la vitesse d'enroulement (vitesse moyenne) sera inférieure à vitesse d'extrusion et du mou se créera. Ensuite lorsque la vitesse moyenne sera supérieure à la vitesse d'extrusion la longueur de mou créé pendant la première partie diminuera complètement jusqu'à ce que la bobine soit terminée. On a représenté sur ce graphique la vitesse du moteur en fonction du temps. La courbe bleue est la vitesse du moteur qui s'adapte progressivement à la vitesse d'enroulement et la courbe orange représente la vitesse moyenne. Les aires sous les courbes représentent la quantité de fil enroulé. On remarque que l'aire sous la courbe bleue et l'aire sous la courbe orange sont égales. En effet pour une vitesse minimale de  $a$  mm/s, une vitesse maximale de  $A$  mm/s on obtient une vitesse moyenne de  $\frac{A+a}{2}$  mm/s. Ainsi, l'aire sous la courbe bleue = l'aires sous la courbe orange =  $\frac{A+a}{2} * t$ .

Dans notre cas la vitesse de rotation minimale vaut :  $\frac{\text{Vitesse d'extrusion}}{\text{Rayon maximal}} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ rad/s}$ , la vitesse de rotation maximale vaut :  $\frac{\text{Vitesse d'extrusion}}{\text{rayon minimal}} = \frac{1}{3} = 0,33 \text{ rad/s}$ . On en déduit une vitesse moyenne de  $\frac{0,33+0,1}{2} = 0,215 \text{ rad/s}$ .

## **II) Le moteur pour la came**

#### Fonction à remplir :

Mise en rotation de l'arbre à came

#### Solution choisie :

Mise en place d'un deuxième moteur électrique du même type que celui servant à faire tourner l'axe de la bobine.

Nous avons donc opté pour le même moteur, l'alimentation sera commune aux deux moteurs. Ainsi, en cas de problèmes les deux moteurs seront mis hors tension simultanément. De plus les moteurs devront tourner à la même vitesse pour le bon fonctionnement de la came.



## SOUS-ENSEMBLE : SUPPORT GÉNÉRAL

## **TABLES DES MATIERES :**

- I) Support général**
- II) Environnement extérieur**

## I) Support général

L'ensemble des autres pôles viendront se fixer sur une planche en bois. Elle sera pourvue de chevilles métalliques à frapper d'une longueur de 6mm ou de 8mm. Ces chevilles permettront de pouvoir démonter les différents pôles facilement. La protection en plexiglas est directement visée à même le bois à l'aide d'équerres d'assemblages.

Pour l'assemblage de la came, un trou spécial pouvant accueillir un joint sera fabriqué.



REFERENCE D'ACHAT: <https://www.toolstation.fr/chevilles-metalliques-a-frapper/p12620>

Prix : Entre 1,91€ et 2,16€ le lot de 10 pièces

## II) Environnement extérieur

A côté de la bobineuse, deux boîtes en bois seront disposées pour permettre le stockage des bobines pleines mais aussi celles vides afin de pouvoir remplacer rapidement les bobines.



Ces boîtes seront créées artisanalement à partir de matériaux de récupération pour réduire le coût du projet.

Concernant l'enroulement du fil, aucun outil n'est nécessaire pour desserrer le mandrin puisque nous avons fait le choix de mettre trois boutons moletés qui permettent un desserrage manuel. De même pour la découpe du fil. Si besoin, il y aura à proximité des outils tel que des pinces ou des clés pour gérer la maintenance de la bobineuse.



## SOUS-ENSEMBLE : SÉCURITÉ ET PÉDAGOGIE

## **TABLE DES MATIERES :**

- I) Sécurité**
- II) Pédagogie**



## I) Sécurité :

Concernant l'aspect sécurité, la bobineuse doit répondre à plusieurs exigences du cahier des charges :

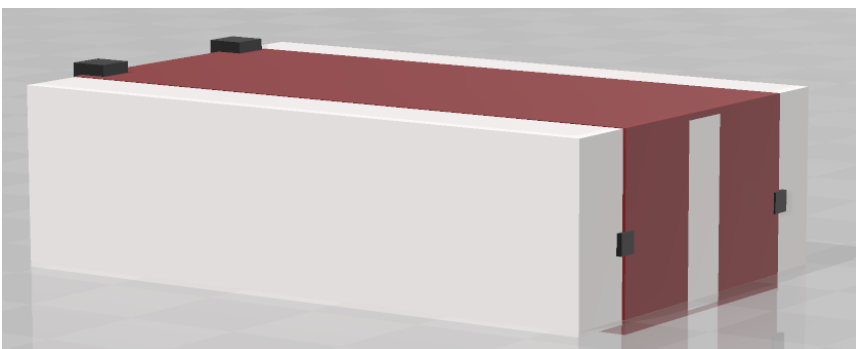
- Ne pas coincer les doigts de l'utilisateur,
- Ne pas brûler l'utilisateur,
- Ne pas blesser l'utilisateur,
- Être déplacé facilement.

Pour éviter à l'utilisateur de se coincer les doigts, l'équipe a pris la décision de ne pas incorporer d'engrenages ou trains épicycloïdaux dans le système global pour éviter à l'utilisateur de se blesser.

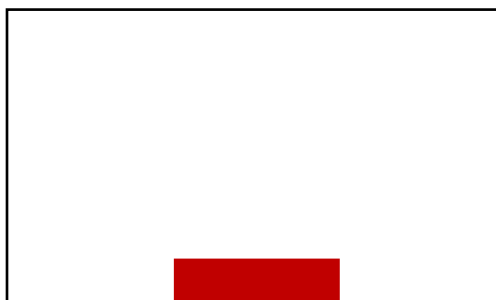
De plus, afin d'assurer une sécurité complète, la bobineuse sera confinée sous un box.

Concernant le risque de brûlures, nous avons décidé de mettre en place un ventilateur en début de chaîne afin d'avoir un fil parfaitement sec en vue de pouvoir l'enrouler sur une bobine.

Un dernier risque à éviter est de blesser l'utilisateur où le personnel se trouvant autour au moment d'une visite du FabLab pour découvrir la bobineuse. Si le fil est amené à être cassé, il y a une possibilité que le fil atteigne le visage d'une personne de manière violente. C'est pour cela qu'une boîte va être déposée sur la bobineuse pour éviter ce genre de situation. Afin de pouvoir accéder à la machine en cas de problème sur celle-ci, nous avons fait le choix de mettre une porte vitrée sur cette boîte. Cette porte comportera une ouverture afin de ne pas gêner le fil au moment de l'ouverture et de la fermeture de la porte. Cette porte sera maintenue par deux charnières à l'arrière. De plus, une petite ouverture sera faite à l'arrière pour permettre la sortie des fils des deux moteurs vers le réseau électrique.



Vue d'ensemble de la protection en plexiglas avec **la porte avec ouverture** fixée avec **deux charnières à l'arrière** et **deux aimants à l'avant**.



Vue de l'arrière de la bobineuse  
avec l'ouverture arrière

Achat :

- Plaque plexiglas 4mm d'épaisseur à 19,16€ (23,00€ TCC), 502×1020mm, REF ; 100-100-4.
- Lot de 2 aimants magnétiques plastique HETTICH, L.17,3mm×l.75mm (4,30€ l'unité), REF ; 67557952.
- Deux charnières de fixation à 10,72€ l'unité (REF ; ME1059366).
- 8 équerres d'assemblage acier zingué HETTICH, l.32 mm à 0,44€ l'unité

Au niveau de la mobilité de la bobineuse, celle-ci sera fixée sur une planche en bois sur roulettes équipées de freins pour qu'elle soit fixe et stable en phase de fonctionnement. De plus, des poignées seront disposées autour de la bobineuse pour permettre de la porter plus aisément.

Achat :

- Lot de 4 roulettes pivotantes 50mm avec frein (7,69€ TCC), REF ; B006GX8E4O.
- 4 poignées de tirage noires à 1,50€ l'unité, REF ; ME7622726
- Planche en bois

**II) Pédagogie :**

Au niveau pédagogique, la boîte posée au-dessus de la bobineuse sera transparente pour pouvoir l'observer en fonctionnement au moment d'une visite ou d'un salon. De plus, certaines pièces de la bobineuse comme le couvercle supérieur du mandrin seront transparentes afin de voir le fonctionnement interne de celui-ci du fait de sa complexité technique (pièces complexes).

Afin d'expliquer les différentes étapes du bobinage du fil (découpage du fil, positionnement du fil, enroulement du fil...), des fiches explicatives numérotées seront disposées sur la protection transparente. Celles-ci devront être claires afin de pouvoir expliquer à une personne ne connaissant pas la bobineuse de comprendre facilement son fonctionnement.