



LA BOBINEUSE

Réponse à un appel d'offre



Entreprise F2

Adrien BUSSY
Tom CHALDEBAS
Guillaume CHAMBON
Julien DELOBEL
Grégoire d'AVIAU de TERNAY
Mathilde LAMBILOTTE
Thomas SERIN

Professeur encadrant

André ERNESTO

Lundi 4 novembre 2019

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Introduction : | 3 |
| 1. Présentation de l'appel d'offre : | 3 |
| 2. Travail préalable : | 4 |
| Enroulement | 6 |
| 1. Fonction principale 1 : La bobineuse doit suivre le rythme imposé par l'extrudeuse | 6 |
| 2. Fonction Principale 2 : La bobineuse doit enrouler le fil uniformément/bien aligné | 10 |
| 3. Fonction principale 3 : La bobineuse ne doit pas abimer le fil | 15 |
| 4. Fonction principale 4 : La bobineuse doit être motorisée. | 16 |
| Sécurité | 17 |
| 1. Fonction principale 1 : Prévoir l'arrêt de la machine | 17 |
| 2. Fonction principale 2 : La bobineuse doit être immobile lors de son fonctionnement (stable) | 19 |
| 3. Fonction principale 3 : L'utilisateur doit voir la machine fonctionner lors de son utilisation... | 19 |
| Fonction principale 4 : Les personnes extérieurs doivent être protégées des éventuels dangers qu'entraînent le fonctionnement de la machine | 19 |
| Acheminement | 20 |
| 1. Fonction principale 1 : La bobineuse ne doit pas abimer le fil | 20 |
| 2. Fonction principale 2 : L'acheminement du fil doit se faire sur une faible longueur | 20 |
| Fonction principale 3 : Le fil doit être tendu à l'arrivée de l'acheminement | 20 |
| Fonction principale 4 : Prévenir de la rupture du fil lors de l'acheminement | 20 |
| Bobine | 22 |
| 1. Fonction principale 1 : La bobine doit être mise en place facilement | 22 |
| 2. Fonction principale 2 : La bobineuse doit être adaptée à différentes bobines | 22 |
| Bobineuse | 24 |
| 1. Fonction principale 1 : La bobineuse doit être mobile | 24 |
| 2. Fonction principale 2 : La bobineuse doit être protégée des intempéries et autres perturbations extérieures | 24 |
| 3. Fonction principale 3 : La machine ne doit pas excéder un certain poids | 25 |
| 4. Fonction principale 4 : La machine ne doit pas excéder une certaine taille ni un certain poids | 25 |
| 5. Fonction principale 5 : La bobineuse ne doit pas excéder un certain prix de construction | 25 |
| Matériaux utilisés | 27 |
| Conclusion | 28 |
| Annexe | 29 |
| 1. La bête à cornes | 29 |
| | 29 |

| | | |
|----|--|----|
| 2. | Le questionnaire | 30 |
| 3. | Production d'un objet à partir d'une imprimante 3D. | 31 |
| 4. | Matériels RS à acheter | 32 |

Introduction :

1. Présentation de l'appel d'offre :

En septembre 2019, l'Ecam Lyon a lancé un appel d'offre concernant le stockage du fil polymère utilisé par les imprimantes 3D. Notre entreprise a décidé de répondre à ce problème en concevant et fabriquant une machine : la bobineuse.

En effet, l'année précédente a été conçu l'extrudeuse, machine produisant un fil à partir de granulés en polymère. Aujourd'hui, la bobineuse vient compléter cette innovation puisqu'elle permet d'enrouler le fil polymère autour de bobines.



Extrudeuse



Bobineuse

Cette bobineuse permet à l'utilisateur de l'extrudeuse de stocker le fil polymère travaillé de manière compacte.

En effet, tout au long de l'année scolaire, le personnel et les étudiants de l'Ecam Lyon (environ 300 personnes) ont besoin d'imprimer leur projet. Cependant, le fil traité, indispensable à la réalisation de leur production, est très onéreux, de l'ordre de 30€ par bobine. C'est pourquoi, pour des raisons financières, la production de leur propre fil devient une nécessité. Par conséquent après s'être muni de leur propre extrudeuse, l'Ecam Lyon a décidé de produire et posséder sa propre bobineuse permettant ainsi de récupérer le fil produit et de l'utiliser pour la création de leur concept.

Participant à la création des projets des étudiants, cette invention se situe dans le Fablab de l'Ecam Lyon. Cet atelier de fabrication est un lieu ouvert au personnel de l'Ecam ainsi qu'aux étudiants d'Ecam 5. A l'intérieur est mis à disposition toutes sortes d'outils et notamment des machines-outils.

Grâce à ce lieu l'Ecam à l'opportunité de passer plus rapidement de la phase concept à la phase de prototypage, de la phase prototypage à la phase de mise au point, de la phase de mise au point à celle de déploiement, etc ...

Cet atelier permet à l'Ecam Lyon une certaine autonomie dans la fabrication d'objets uniques par exemple, une certaine indépendance et connaissance du milieu industriel pour ces étudiants et représente aussi un énorme avantage économique pour cette école en concevant elle-même ses propres produits.



En définitif, cette machine n'existant pas encore sur le marché, elle aura un intérêt pédagogique pour les étudiants participant à ce projet et ceux qui étudieront, dans le futur son fonctionnement.

Enfin cette machine devra être opérationnelle en janvier 2020 avec un budget pour sa fabrication de 750€.

2. Travail préalable :

Afin de commencer la conception de notre bobineuse, notre entreprise s'est réunie dans le but d'échanger sur les différentes fonctions principales auxquelles la bobineuse devra répondre. A ces fonctions, nous avons attribué des fonctions secondaires expliquant un peu plus en détail la fonction principale correspondante.

Ce tableau permet alors à l'équipe de fixer les multiples tâches amenant à la conception de cette machine mais surtout nous aide à trouver des solutions répondant au mieux à l'appel d'offre.

| No | Désignation | Critère | Niveau | Flexibilité |
|---------|--|--------------|--------|-------------|
| I | Enroulement | | | |
| FP1 | La bobineuse doit suivre le rythme imposé par l'extrudeuse | | | |
| FP1-1 | Faire varier la vitesse de la bobine durant l'enroulement | | | |
| FP2 | La bobineuse doit enrouler le fil uniformément/bien aligné | | | |
| FP2-1 | Optimiser le remplissage de la bobine (éviter les emplacements) | | | |
| FP2-2 | La bobineuse doit pouvoir enrouler efficacement plusieurs diamètres de fil | | | |
| FP3 | La bobineuse ne doit pas abimer le fil pendant l'enroulage | | | |
| FP3-1 | La bobineuse doit refroidir le fil à une température donnée où il ne s'abimera pas | | | |
| FP3-2 | La bobineuse ne doit pas modifier son diamètre | | | |
| FP3 | La bobineuse doit être motorisée | | | |
| FP3-1 | Réduire la taille du réducteur au maximum (réducteur compact) | | | |
| FP3-2 | Alimenter le système en énergie | Tension fixe | 12 V | 0 |
| II | Sécurité | | | |
| FP1 | Prévoir l'arrêt de la machine | | | |
| FP1-1 | Prévenir lors de la rupture du fil | | | |
| FP1-2 | Prévenir lors du dysfonctionnement du système moteur | | | |
| FP1-3 | La machine doit détecter la fin de l'enroulage | | | |
| FP1-3-1 | La machine doit s'arrêter | | | |
| FP1-3-2 | La section du fil doit être possible manuellement sans perturber l'enroulage | | | |
| FP1-3-3 | La machine doit prévenir l'opérateur de la fin de l'enroulage | | | |
| FP2 | La bobineuse doit être immobile lors de son fonctionnement (stable) | | | |
| FP3 | L'utilisateur doit voir la machine fonctionner lors de son utilisation | | | |
| FP4 | Les personnes extérieures doivent être protégées des éventuels dangers qu'entraînent le fonctionnement de la machine | | | |
| FP4-1 | L'utilisateur doit être protégé de la chaleur dégagée par la machine et le fil | | | |
| FP4-2 | L'utilisateur doit être protégé des pièces du système qui pourraient le | | | |
| III | Acheminement | | | |
| FP1 | La bobineuse ne doit pas abimer le fil | | | |
| FP1-1 | La bobineuse ne doit pas modifier le diamètre du fil | | | |
| FP1-2 | La bobineuse ne doit pas rompre le fil lors de son transport | | | |
| FP2 | L'acheminement du fil doit se faire sur une faible longueur | | | |
| FP3 | Le fil doit être tendu à l'arrivée de l'acheminement | | | |
| FP3-1 | La machine doit garder le fil tendu même si celui-ci se rompt | | | |
| FP3-2 | La bobineuse doit garder le fil tendu à la fin de l'enroulage | | | |
| FP4 | Prévenir de la rupture du fil lors de l'acheminement | | | |
| IV | Bobine | | | |
| FP1 | La bobine doit être mise en place facilement | | | |
| FP2 | La bobineuse doit être adaptée à différentes bobines | | | |
| FP2-1 | Laisser la place pour mettre une bobine | | | |
| FP2-2 | La bobineuse doit accueillir plusieurs diamètres de bobines | | | |
| V | Bobineuse | | | |
| FP1 | La bobineuse doit être mobile | | | |
| FP1-1 | La bobineuse doit pouvoir être transporté par deux personnes | | | |
| FP1-2 | La bobineuse doit rester immobile lorsqu'elle n'est pas déplacée | | | |
| FP2 | La bobineuse doit être protégée des intempéries et autres perturbations extérieures | | | |
| FP2-1 | La bobineuse doit pouvoir résister aux UV | | | |
| FP2-2 | La bobineuse doit être protégée de la pluie et de la poussière | | | |
| FP3 | La machine ne doit pas excéder un certain poids | | 40 kg | 0 |
| FP4 | La machine ne doit pas excéder une certaine taille | | | |
| FP4-1 | Prévoir le volume de la bobineuse | | 1 m3 | 0 |
| FP4-2 | Prévoir une largeur maximal de la bobineuse pour passer les portes | | 90cm | 0 |
| FP5 | La bobineuse ne doit pas excéder un certain prix de construction | | 750 € | 0 |
| FP6 | Les pièces de la bobineuse doivent être facile d'accès pour une maintenance | | | |

Dans notre rapport, nous reprenons chaque fonction principale et nous expliquons comment notre entreprise a répondu à ces contraintes.

Enroulement

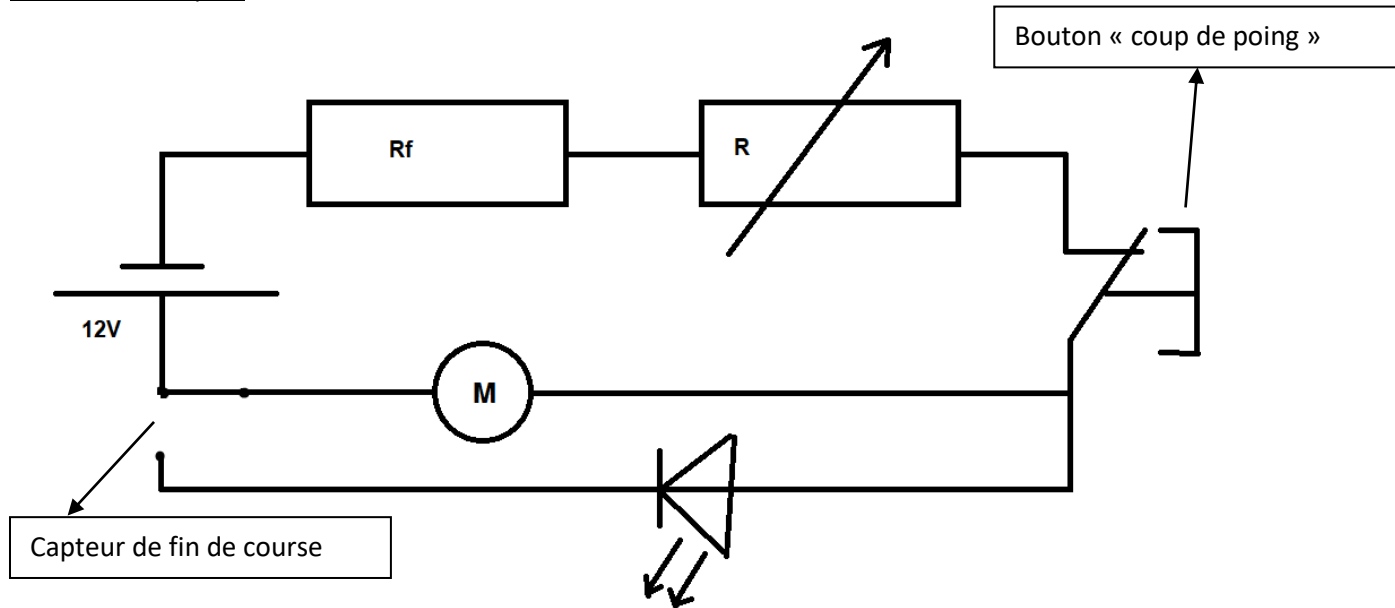
1. Fonction principale 1 : La bobineuse doit suivre le rythme imposé par l'extrudeuse

Au fur et à mesure que la bobine se remplit, la vitesse de la bobine doit elle aussi varier car son rayon augmente. Pour cela, nous avons conçu un capteur mécanique qui transforme le remplissage de la bobine en une information électrique via un potentiomètre qui fait varier la vitesse de rotation du moteur. Nous avons dimensionné la résistance nécessaire pour faire tourner la bobine dans le cas où elle tourne le plus vite et dans le cas où elle tourne le plus lentement.

La vitesse de rotation de la bobine dans le cas où l'utilisateur remplit une bobine est de 20 cm/s, soit une vitesse de rotation du moteur de 38,2 tr/min (avec un rapport de réduction de 0.5 au niveau du réducteur). On sait que le moteur tourne à 55 tr/min lorsque 12V sont appliqués à ses bornes, la vitesse de rotation du moteur étant proportionnel à la tension appliquée à ses bornes, on sait que pour tourner à 38,2 tr/min, il faut qu'une tension de 8,4V lui soit appliquée. Par une loi des mailles, on peut calculer R_F qui correspond à la résistance fixe du circuit électrique.

La vitesse de rotation de la bobine lorsque celle-ci fonctionne en même temps que l'extrudeuse est comprise dans l'intervalle suivante : $[0,16 ; 0,44]$ rad/s soit une vitesse de rotation du moteur de : $[0,32 ; 0,88]$ rad/s. Nous avons donc de la même manière calculé la résistance nécessaire pour que le circuit fasse tourner le moteur à ces vitesses-là. La résistance doit alors varier dans l'intervalle suivante : $[1,19 ; 1,41]$ Ω . Nous avons donc choisi un potentiomètre de résistance maximale 4,7 Ω et ayant un angle de débattement de 270°.

L'angle que devra décrire le potentiomètre est de 12° afin de respecter les vitesses de rotation de la bobine.

Schéma électrique :

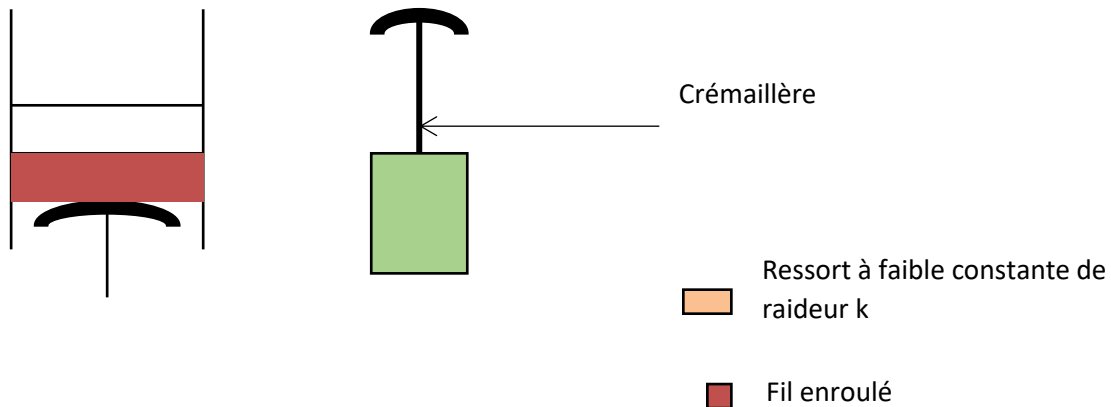
Le fil sort de l'extrudeuse à 15 mm/s. Il faut donc que la bobine tourne à une vitesse v permettant d'enrouler un fil sortant à 15 mm/s. Néanmoins cette vitesse est variable suivant la couche de fil sur laquelle on se place. En effet plus la couche est située vers l'extérieur de la bobine, plus la longueur de fil nécessaire à faire un tour augmente sans pour autant que la vitesse d'extraction de l'extrudeuse varie. Il faut pouvoir diminuer la vitesse de rotation de la bobine au cours de l'enroulement pour ne pas abimer le fil en l'étirant.

Solution envisagée :

On a d'abord pensé à modifier cette vitesse en s'aidant d'une programmation Arduino qui connaissant le temps de remplissage de chaque couche aurait pu modifier la vitesse du moteur à chaque instant t correspondant à la fin du remplissage de la couche. On a appris par la suite que l'on ne pouvait pas utiliser Arduino.

Solution retenue :

On fait varier la vitesse du moteur en faisant varier l'intensité dans le circuit par le biais d'une résistance variable.

Schéma :

Un patin appuie légèrement, en permanence sur le fil enroulé grâce au ressort sur lequel il repose. Le patin est léger et le ressort à une constante de raideur faible car le fil ne doit pas être abîmé et doit faire descendre le patin. Au fur et à mesure des couches il descend, donc la crémaillère aussi. Elle engraine sur une roue dentée montée sur le potentiomètre qui tourne et induit sur la vitesse du moteur.

| | | | |
|---|---------|------------------|---|
| Diamètre de remplissage intérieur le plus petit | 68mm | $r = 1,19\Omega$ | $V = 0,44 \text{ rad/s}$ (vitesse maximale) |
| Diamètre de remplissage extérieur le plus grand | 187,5mm | $r = 1,41\Omega$ | $V = 0,16 \text{ rad/s}$ (vitesse minimale) |

r = valeur de la résistance variable dans le cas

v = vitesse de rotation de la bobine pour que le fil soit enroulé sans l'étirer.

Le patin a donc une course maximale théorique de 59,8mm (environ 60mm)

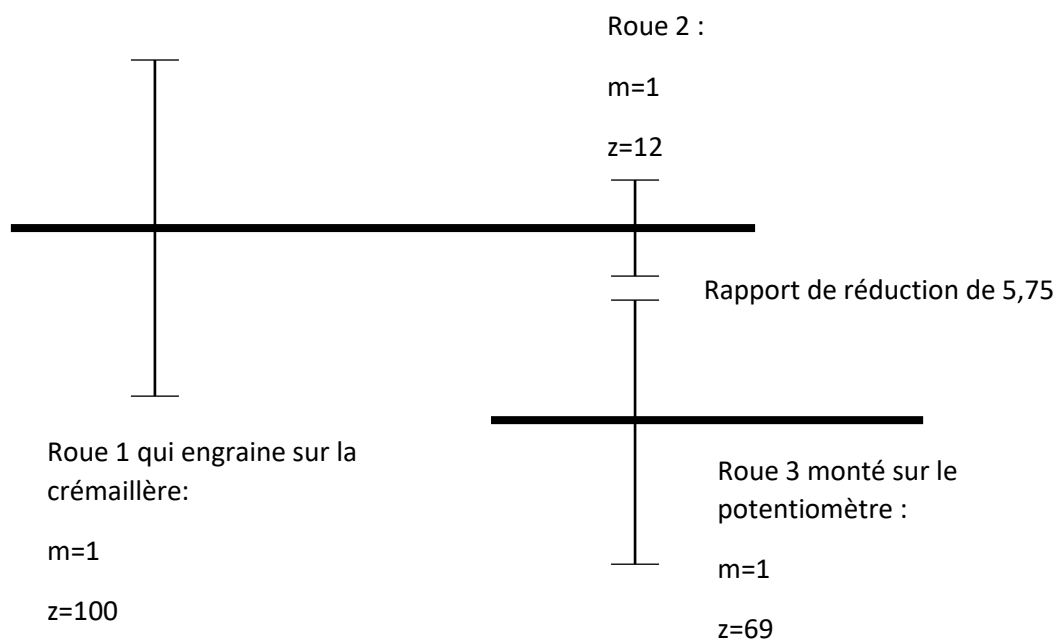
On choisit un potentiomètre de résistance maximale $R = 4,7 \Omega$ (réf : PE60L0FLW4R7MA). C'est le plus petit disponible sur RS-components qui nous permettra donc d'avoir la meilleure précision.

La variation de résistance est de $0,22 \Omega$ et correspond à une variation d'angle au niveau du potentiomètre de 12° car son débattement total est de 270° .

La variation totale de vitesse est très faible. De plus entre chaque couche la variation de vitesse est de l'ordre de 10^{-2} . Pour simplifier notre système on assimile notre variation de vitesse à une variation linéaire entre la vitesse maximale et minimale. Cela rend cohérent notre système crémaillère-engrenage.

Réducteur :

Tel que notre système est actuellement, la roue dentée sur laquelle engraine la crémaillère devrait avoir un diamètre de l'ordre de grandeur du mètre. D'où la présence indispensable d'un réducteur pour réduire la taille des roues.



La roue 1 tourne de 69° lorsque la course totale est parcourue. Un rapport de réduction de 5 permet d'avoir exactement le débattement souhaiter soit $13,8^\circ$.

On choisit d'imprimer l'ensemble de notre réducteur avec une imprimante 3D. Le matériau utilisé sera donc de L'ABS.

Choix de dimensionnement du patin :

On a choisi de dimensionner le patin pour la bobine la moins large pour que cela puisse sur les autres bobines.

2. Fonction Principale 2 : La bobineuse doit enrouler le fil uniformément/bien aligné

a) Répartition du fil autour de la bobine

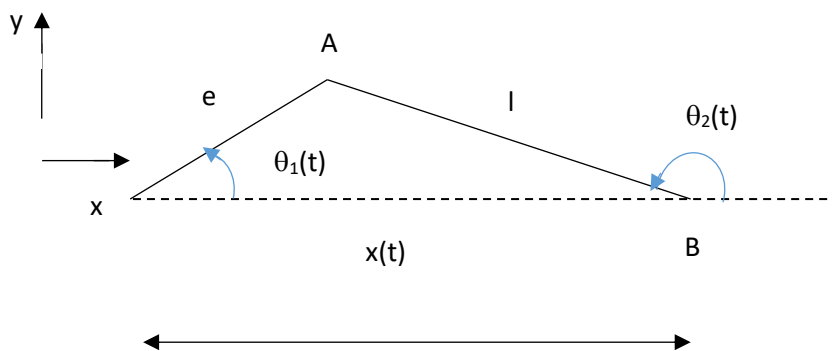
Dans cette partie, nous allons nous intéresser à la répartition du fil autour de la bobine. Afin de maximiser la place autour de la bobine, il est nécessaire que le fil s'enroule de manière homogène sur la totalité de la largeur de la bobine. Cependant, il faut prendre en compte la vitesse d'enroulage ainsi que les différentes tailles de bobines proposées par l'utilisateur.

Notre solution est le système bielle-manivelle assurant le mouvement de va-et-vient du support fil.

Loi entrée-sortie du système bielle-manivelle

Dans cette sous-partie, nous allons déterminer la loi entrée-sortie de ce système afin de connaître de manière précise la position de chaque point.

L'entrée est ici l'angle θ_1 variant en fonction du temps correspondant au mouvement de rotation de l'arbre d'entrée. La sortie est la translation du point B désignant le support fil qui répartira de manière homogène le fil autour de la bobine.



$$\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BO} = \vec{0}$$

Projection sur x et y :

$$\begin{cases} e \cdot \cos \theta_1(t) - l \cdot \cos \theta_2(t) - x(t) = 0 \\ e \cdot \sin \theta_1(t) - l \cdot \sin \theta_2(t) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} e \cdot \cos \theta_1(t) - x(t) = l \cdot \cos \theta_2(t) \\ e \cdot \sin \theta_1(t) = l \cdot \sin \theta_2(t) \end{cases}$$

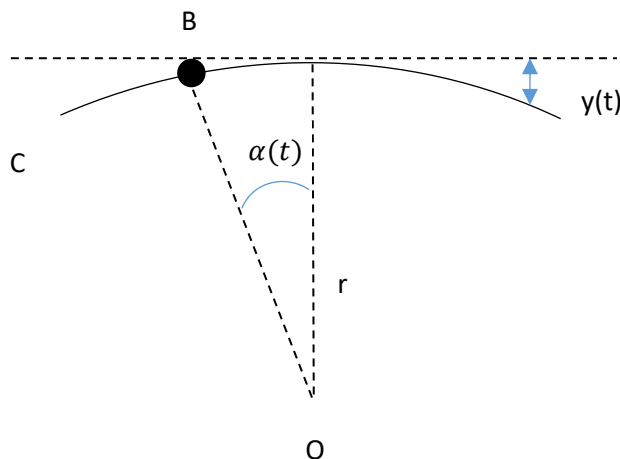
On somme les 2 équations au carré et on obtient la loi entrée sortie du système :

$$x(t) = e \cdot \cos \theta_1(t) + \sqrt{l^2 - e^2 \cdot (\sin \theta_1(t))^2}$$

Où $x_{\max} = x_{\min} + 41/47/56/60$ (mm) en fonction de la taille de la bobine choisie.

Cependant, au niveau de la conception, nous nous sommes rendu compte qu'il était plus simple de mettre le point B en rotation qu'en translation. En effet, afin de rendre précise la translation il aurait fallu poser un rail au point B mais cela aurait rajouter du frottement. Ainsi, nous avons opté pour une mise en rotation. Celle-ci peut être rendu précise à l'aide d'une bielle où l'on placerait le point B à un bout et l'autre serait en liaison pivot avec le bâti.

Translation de B transformé en rotation dans la réalité :



$y(t)$ correspond à l'erreur de la position de B s'il faisait une rotation à la place d'une pure translation. Ici le point B décrit une trajectoire correspondant au cercle C de centre O et de rayon r .

On peut exprimer cette erreur : $y(t) = r \cdot (1 - \sin \alpha(t))$

En posant un rayon r de 50mm et une amplitude maximale allant de -30 à $+30$ mm, on obtient une erreur y de 7,1mm soit un écart de 14,2% face à une simple translation.

Par ailleurs, en posant r égal à 100mm et une même amplitude, on obtient une erreur cette fois-ci de 7,1mm soit un écart de 4,2% face à une simple translation.

Ainsi, afin de minimiser l'erreur, nous choisissons un rayon r de 100mm.

Nous pouvons remplacer la translation par une rotation définie plus haut. L'erreur reste faible. La solution est acceptée.

Les longueurs e et l des deux bielles seront fixées lors du choix des pièces proposées dans les différents catalogues. Celles-ci n'influencent pas directement sur le bon fonctionnement du système.

b) Conception

Dans cette partie, nous allons concevoir notre système de répartition du fil autour de la bobine. Pour cela, nous nous sommes aidés du logiciel de CAO Creo permettant de se faire une idée du système en 3D avant de le lancer en production.

Le disque

Le mouvement de rotation est donné par l'arbre d'entrée à un pignon fixé directement sur le disque lui-même en liaison pivot avec le bâti.

Le rapport de réduction entre l'engrenage de l'arbre et celui du disque doit être de $\frac{1}{2}$.

En effet, lorsque la bobine fait un tour, le système bielle-manivelle doit avoir fait un aller-retour soit un demi-tour du disque.

Par la suite, nous avons fixé les dimensions des deux pignons : celui en bout d'arbre principale et celui raccordé au disque.

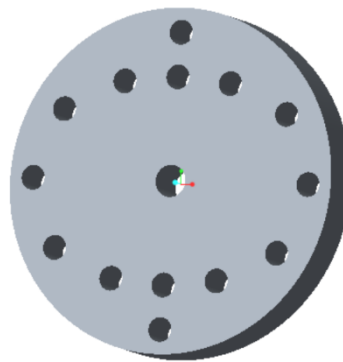
Les deux engrenages ont été trouvés sur RS components (code : 1827994). Il s'agit d'engrenages coniques dont le pas est de 1mm et l'alésage est de 8mm. Le prix s'élève à 9,11€.



Afin de pouvoir ajuster la distance de balayage du point B il faut pouvoir ajuster la distance e . Pour cela, il y a plusieurs possibilités. La première est de faire un trou oblong sur le disque. Mais cette solution n'a pas été retenue car il faut pouvoir bloquer l'axe de la bielle en translation dans le trou oblong tout en gardant la rotation possible. Or si on vient avec un système de vis écrou réaliser notre serrage de manière correcte donc empêcher la translation et donc on crée un contact appui plan conséquent entre la surface supérieur du disque et la surface inférieure de la bielle empêchant la rotation de l'axe par rapport au disque.

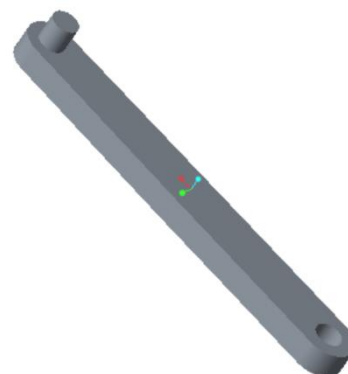
La solution retenue est de positionner des trous dans le disque, chaque trou correspondant à un type de bobine. L'utilisateur aura juste à déplacer l'axe de la bielle en le positionnant dans le trou correspondant à la bobine.

Le disque possède 4 trous correspondant aux 4 positions possibles. En effet, l'amplitude de débattement change en fonction de la bobine. Ainsi, ce système est fait pour ces 4 bobines prédéfinies. Si on souhaite ajouter une bobine de dimension inconnue par le système, il est nécessaire d'ajouter un trou à la bonne distance du centre du disque.



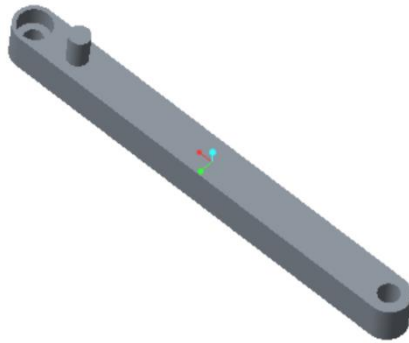
1^{ère} bielle

Cette bielle relie le disque à la seconde bielle. Elle peut être placée à différentes positions sur le disque afin de s'adapter aux bobines.



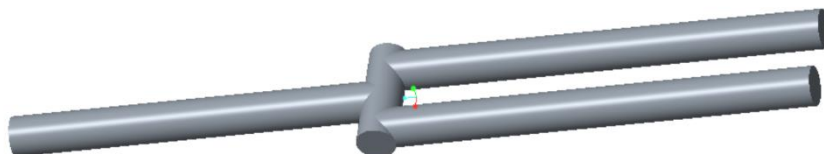
2nde bielle

Cette seconde bielle assure la rotation du point B à son extrémité où est fixé le support du fil. L'autre bout est en liaison pivot avec le bâti. Une zone dans celle-ci est réservée à la pose d'une roulette afin d'obtenir un appui sur le bâti.



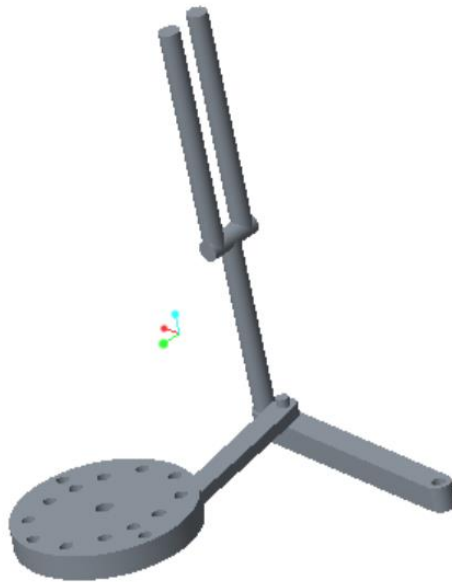
Support fil

Cette pièce est en contact avec le fil directement. Le fil est positionné entre deux arbres permettant de le pousser à droite et à gauche. Le fil s'enroulant, la bobine verra son diamètre augmenter et ainsi l'altitude du fil au niveau des deux arbres augmentera. C'est pourquoi il est nécessaire de concevoir deux arbres assez longs pour pouvoir, durant la totalité de l'enroulement, orienter le fil.



Assemblage

Nous obtenons en assemblant la totalité des pièces, notre système permettant l'enroulement du fil de manière homogène autour de la bobine.



c) Conclusion

Au cours de cette étude sur l'orientation du fil, nous avons pu étudier le système bielle-manivelle et définir une loi entrée-sortie. Par ailleurs, la conception nous a orienté sur une rotation du support du fil. Le problème sur les différentes positions sur le disque s'est posé. Nous avons pensé faire un trou oblong avec un écrou permettant de fixer la bielle et le disque. Cependant, cela empêchait la liaison pivot entre la bielle et le disque. Ainsi, nous avons préféré percer à différents endroits le disque quitte à en refaire pour les nouvelles bobines. Les pièces conçues sous Creo sont imprimées en 3D. Enfin, l'assemblage finale fut important afin de dimensionner parfaitement les deux bielles. Le système doit être adapté à la fois au reste du système et au bâti.

3. Fonction principale 3 : La bobineuse ne doit pas abimer le fil

En se renseignant plus amplement, on a appris que le fil sortant de l'extrudeuse pouvait être directement enroulé et que de plus le fait qu'il soit encore chaud permettait de faciliter l'enroulement car le fil est souple et non raide. Ensuite le refroidissement se fait naturellement avec l'air ambiant.

4. Fonction principale 4 : La bobineuse doit être motorisée.

Afin de trouver un moteur adéquat à notre système, il nous était nécessaire de trouver différentes caractéristiques comme la vitesse de rotation mais surtout la puissance d'entrée.

Pour obtenir cela, nous avons d'abord trouvé le couple de sorti :

$$C_s = R_{max} * T$$

Avec R_{max} le rayon maximal de la bobine ($R_{max} = 94,5 \text{ mm}$) et T la force appliquée par la bobine sur le fil ($T = 10 \text{ N}$). Ainsi, $C_s = 0,945 \text{ Nm}$.

Puis, nous fixons la vitesse de sortie équivalente à $V_s = 20 \text{ cm/s}$, ce qui nous permet de déterminer

$$w_s = \frac{V_s}{R_{max}} = 2,12 \text{ rad/s}.$$

Par conséquent, $P_s = C_s * w_s = 2,0 \text{ W}$.

Enfin, on sait que $P_e = \frac{P_s}{\eta}$, on fixe alors le rendement $\eta = 0,6$ et on trouve $P_e = 3,33 \text{ W}$.

Ainsi, avec cette valeur de puissance d'entrée on peut en déduire un type de moteur grâce au site RS.

Néanmoins, pour plus de précision et surtout pour des raisons de sûreté nous avons décidé d'augmenter la puissance de notre moteur et de prendre une puissance d'entrée plus élevée de l'ordre de 40 W. En effet en prenant un moteur moins précis il y a un risque qu'il n'arrive pas à faire démarrer le système.

Nous avons alors décidé de choisir un motoréducteur afin d'obtenir un couple assez important tout en économisant de l'argent et de la place. En effet, nous avons pris un motoréducteur de puissance 41,3W et de vitesse de sortie de 55 tours/minute. Or nous souhaitons une vitesse de sortie environ égale à 20 tours/minute, par conséquent en ajoutant un engrenage simple de module 2 et de rapport de réduction de $\frac{1}{2}$ cela convient parfaitement. En définitif, nous avons dimensionné un train d'engrenages avec deux pignons, liés en rotation sur leur arbre respectifs avec un méplat : le premier pignon à donc un module de 2 et comporte 15 dents, le deuxième toujours avec un module de 2 a un nombre de dents égale à 30. Dans les deux cas le matériau utilisé pour ces pignons est l'acier.

Pour ce qui est de la fixation du moteur, nous avons créé un support moteur fixé à la plaque à l'aide de 4 vis CHC M4.

Sécurité

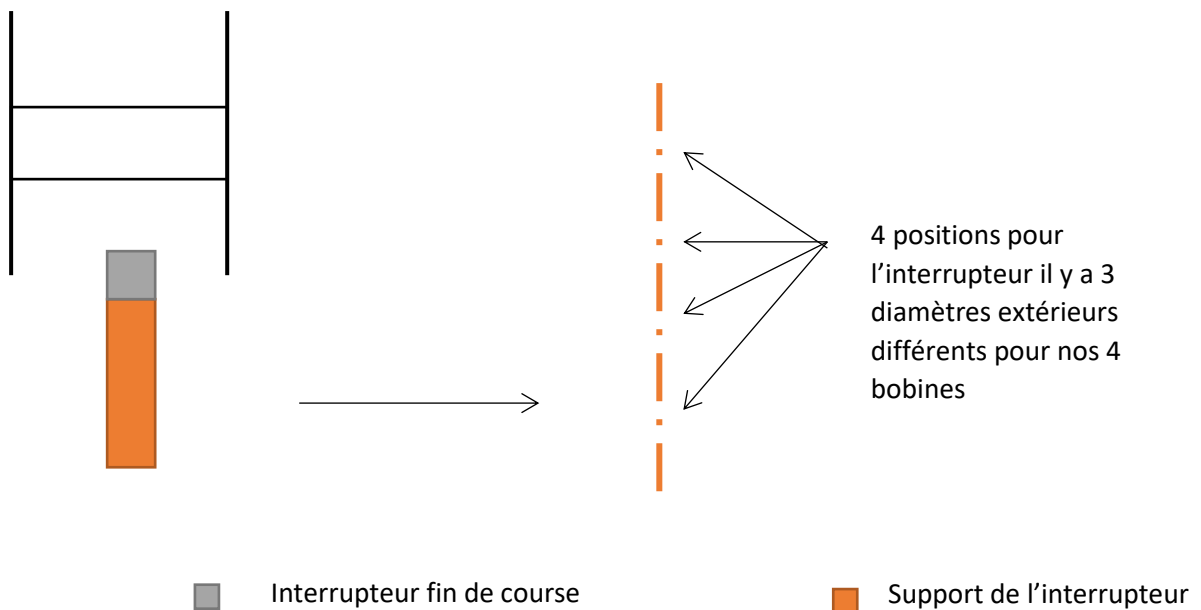
1. Fonction principale 1 : Prévoir l'arrêt de la machine

a). La machine doit s'arrêter

Arrêt de la bobineuse :

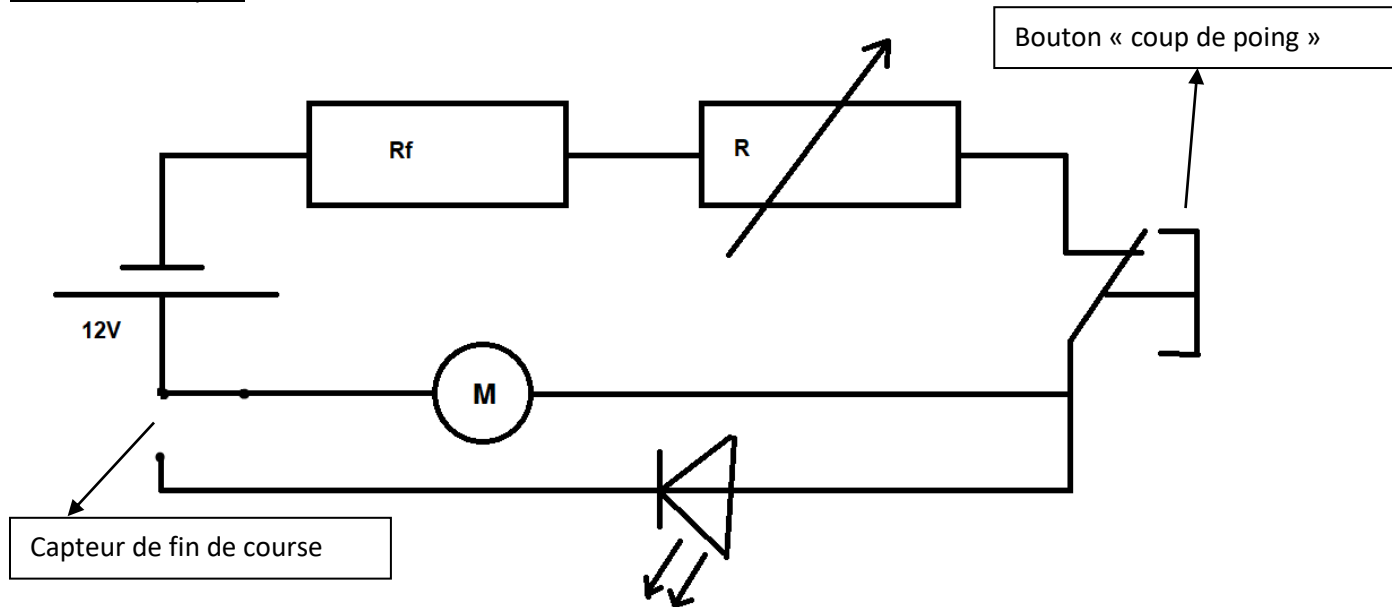
Pour que la bobineuse s'arrête quand la bobine est totalement remplie on place un interrupteur fin de course sous la bobineuse. Ce dernier est relié au circuit électrique de la bobineuse et de l'extrudeuse. Lorsque la bobine est remplie les circuits s'ouvrent et tout s'arrête. Comme il y a 3 dimensions de bobine différentes il faut prévoir 3 réglages pour la hauteur du capteur.

Schéma :



Dans le circuit électrique, nous avons mis à disposition de l'opérateur un bouton coup de poing pour arrêter le fonctionnement de la bobineuse et de l'extrudeuse en cas de problème dans le circuit.

Schéma électrique :



b). La section du fil doit être possible manuellement sans perturber l'enroulement

On met un ciseau à disposition pour permettre à l'utilisateur de couper le fil après la fin de l'enroulement. Lorsqu'il sectionne le fil, l'utilisateur doit tenir l'extrémité pour éviter que l'enroulement se détende. Il vient ensuite accrocher la courte longueur de fil à l'aide d'un bout de ruban adhésif sur la paroi intérieure de la bobine. De cette manière il sera facile pour un autre utilisateur de trouver l'extrémité du fil lorsqu'il recevra la bobine.

c). La machine doit prévenir l'opérateur de la fin de l'enroulement

Lors de l'arrêt de la bobineuse un voyant rouge s'allume, ce voyant signale à l'utilisateur que la bobine est remplie. Il est intégré au circuit électrique du moteur et s'allume lorsque le capteur de fin de course se ferme.

2. Fonction principale 2 : La bobineuse doit être immobile lors de son fonctionnement (stable)

Afin de répondre à cette contrainte, nous avons décidé de placer 4 roulettes munies de frein.

3. Fonction principale 3 : L'utilisateur doit voir la machine fonctionner lors de son utilisation

Fonction principale 4 : Les personnes extérieures doivent être protégées des éventuels dangers qu'entraînent le fonctionnement de la machine

Dans le but de protéger, la bobineuse de tout risque extérieure tel que la pluie, la température mais aussi de protéger les utilisateurs, notre entreprise a décidé de placer une protection en polyéthylène téréphtalate (PETG) entourant toute la bobineuse. Seule une face ne sera pas recouverte par ce carter permettant ainsi au fil de passer de l'extrudeuse jusqu'à la bobineuse (cf partie 2 Bobineuse).

Ainsi, la transparence du matériau choisi, permet à l'utilisateur de voir la machine fonctionner le long de son utilisation.

Acheminement

1. Fonction principale 1 : La bobineuse ne doit pas abimer le fil

a). La bobineuse ne doit pas modifier le diamètre du fil

Lors de l'acheminement du fil, celui-ci est acheminé sans toucher aucun élément du système. Ainsi, lors de l'acheminement, le diamètre du fil n'est pas modifié.

b). La bobineuse ne doit pas rompre le fil lors de son transport

Etant donné que notre bobineuse est dans le cadre du prototypage, nous ne pouvons pas jouer sur le couple de la bobineuse ou sur d'autres paramètres qui nous permettrait de prévoir la rupture du fil. Nous n'avons donc pas réussi à respecter cette exigence.

c). L'acheminement du fil doit se faire sur une faible longueur

Pour que l'acheminement du fil se fasse sur une faible longueur, nous avons disposé la bobine la plus proche de l'extrudeuse. Il faut cependant penser à garder la distance nécessaire pour garder l'utilité de la soufflerie à la sortie de l'extrudeuse. Le fil est alors assez froid pour être solide mais assez chaud pour être enroulé autour de la bobine.

2. Fonction principale 2 : L'acheminement du fil doit se faire sur une faible longueur

Fonction principale 3 : Le fil doit être tendu à l'arrivée de l'acheminement

Fonction principale 4 : Prévenir de la rupture du fil lors de l'acheminement

Pour ce qui est de garder le fil tendu plusieurs solutions ont été envisagées :

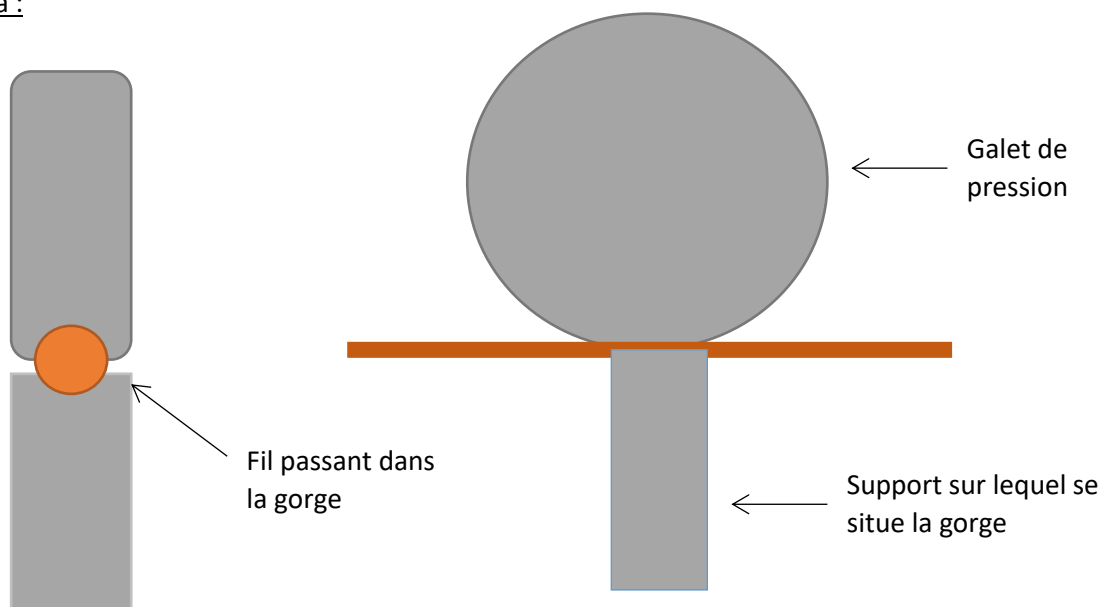
- La mise en place à la sortie de l'extrudeuse d'un système anti-retour semblable aux colliers rislan.



Cependant nous n'avons pas réussi à associer le fait que le fil passe au travers de ce système d'anti-retour lors du fonctionnement normal de la bobine mais bloque le fil lorsque celui-ci est sectionner volontairement ou non avant ce système.

- Un deuxième système consistait à faire passer le fil dans une gorge pendant d'une roue appuyait légèrement sur le fil. Pendant le fonctionnement de la bobineuse le fil serait enroulé et donc entrainerait le galet en rotation tandis que lors de l'arrêt de fonctionnement de la bobineuse le galet vert assurerait une pression suffisante sur le fil pour empêcher l'enroulement de se détendre. Cette solution compliquée qui ne permettait pas de satisfaire la FP3-1 « La machine doit garder le fil tendu même si celui-ci se rompt » a finalement été abandonnée.

Schéma :



Bobine

1. Fonction principale 1 : La bobine doit être mise en place facilement

Afin de répondre à cette problématique, on a donc cherché un moyen facile et assez rapide pour pouvoir récupérer la bobine remplie et la remplacer par une nouvelle. Pour cela il faut donc une solution adaptée et explicite pour tout type d'utilisateurs (élèves comme professeurs).



Un système d'écrous à ailes permet de remplir cette fonction, en effet suffit de démonter un seul cône pour récupérer la bobine (le cône à l'extrémité de l'arbre). Pour que la bobine soit stable il faudra bien serrer à l'aide d'une rondelle et donc de l'écrou à ailes. Celui avec le diamètre le plus important sur le site RS est de 12mm ce qui impose un arbre de 12 mm sur cette « portion ».

2. Fonction principale 2 : La bobineuse doit être adaptée à différentes bobines

En effet il existe plusieurs modèles de bobine qui pourront être utilisés sur la bobineuse. Ainsi celle-ci doit être conçue de manière à accueillir tous ces modèles qui ont donc des diamètres et longueurs qui sont différentes entre elles.

Nous avons donc décidé de mettre en place deux cônes sur l'arbre sur lesquelles les différentes bobines reposeront.

Le plus grand diamètre intérieur étant de 55mm et le plus petit de 52.1mm.

De même la plus grande longueur s'élève à 67mm et la plus faible à 48.1mm.

En prenant un coefficient de sécurité de 10% pour ces 4 valeurs on a pu déterminer des valeurs à respecter concernant les cônes. Le risque étant que les deux cônes se « percutent », l'exemple le plus problématique est pour un diamètre intérieur de bobine élevé et une faible longueur de bobine.

C'est-à-dire pour un diamètre de $55 + 10\% = 60.5\text{mm}$ et une longueur de $48.1 - 10\% = 43.7\text{mm}$.

Un cône avec un diamètre de départ de 40mm s'élargissant jusqu'à 80mm sur une hauteur de 40mm convient au cas le plus risqué (il reste un espace d'environ 3mm) et donc à toutes les bobines.

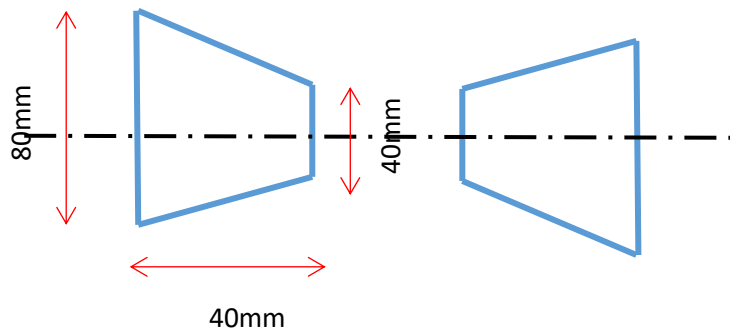


Schéma des deux cônes symétriques positionnés à droites et gauche de la bobine sur l'arbre.

L'arbre entrainera donc les cônes en rotation qui eux même entraineront la rotation de la bobine.

Bobineuse

1. Fonction principale 1 : La bobineuse doit être mobile

Pour la mobilité de la bobineuse deux systèmes ont été mis en place. Dans un premier temps tout sera fixé sur un plateau rectangulaire de dimension 82*60 mm, pour que rien ne se casse ou ne se renverse durant le déplacement de bobineuse. Pour de courte distance 4 roulettes porteront le plateau pour la déplacer la bobineuse sur le sol, ces roulettes sont également constituées de freins afin d'assurer une fixation totale du plateau. Ces roulettes sont fixer sur le plateau à l'aide de 4 vis CHC M6 et d'écrous.



Ensuite pour les plus grandes distances, nous avons installé deux poignées à chaque extrémités du plateau afin de pouvoir transporter la bobineuse. Ces deux poignées seront fixer à l'aide de 2 vis CHC M4.



2. Fonction principale 2 : La bobineuse doit être protégée des intempéries et autres perturbations extérieures

Afin d'assurer la protection de la bobineuse nous avons décidé d'installer un carter en polyéthylène qui sera composé de 4 faces (une face absente pour laisser rentrer le fil chaud et la face

inférieur est en réalité le plateau.) Ces 4 faces sont reliées entre elles à l'aide d'équerres de fixation, trois pour chaque liaison, donc 9 équerres seront nécessaires ainsi que 36 vis CHC M4 et 36 écrous. Le polyéthylène permet de protéger la bobineuse de la pluie mais aussi de la chaleur ou encore du vent en grande partie si celle-ci vint à aller à l'extérieur pour une quelconque raison. La hauteur du carter est de 50mm, et son épaisseur de 4mm.

3. Fonction principale 3 : La machine ne doit pas excéder un certain poids

De plus comme les pièces se doivent être facile d'accès, et notamment le changement de bobine, le carter se doit d'être rapidement retirable. C'est pourquoi une rainure de 3mm est creusé au tour du plateau (à 10mm des bords) afin d'emboîter de retirer le carter rapidement. Le caractère transparent du matériau permet aussi de voir nettement le mécanisme de la bobineuse pour le ou les spectateurs et ainsi le comprendre.

4. Fonction principale 4 : La machine ne doit pas excéder une certaine taille ni un certain poids

Les dimensions choisit pour le carter sont 80*58*50,3 en cm. On à donc un volume inférieur à 1 m³ et une largeur maximale inférieure à 90cm. Les exigences sont bien respectées.

La bobineuse ne devait également pas dépasser les 60 kg. Or avec le poids du carter, du plateau et des composant de la bobineuse on estime que notre masse devrait être inférieur à 20kg ce qui laisse une grande marge de sécurité.

5. Fonction principale 5 : La bobineuse ne doit pas excéder un certain prix de construction

Le prix est inférieur au budget imposé par l'appel d'offre à savoir 750€

| Matériel | Code commande RS | Quantité | Référence | Prix (TTC) en euro | |
|-------------------------------|------------------|----------|--------------------------------|--------------------|---------------|
| Ressort | 121-163 | 1 | Ressort compression/93,5/11,25 | 4,04 | |
| Motoréducteur | 420621 | 1 | | 67,55 | |
| Potentiomètre | 179-0677 | 1 | 026TB32R5A0B1A1 | 3,53 | |
| Interrupteur de fin de course | 9026871 | 1 | | 17,65 | |
| LED rouge | 6544461 | 1 | | 0,224 | |
| Roulette pivotante | 8286293 | 4 | | 32,2 | |
| Ecrou à ailes | 521901 | 1 | | 38,4 | Sachet de 50 |
| Poignet de tiroir | 3478181 | 2 | | 21,82 | |
| Rondelle plate | 7976070 | 1 | | 14,72 | Sachet de 100 |
| Roulement à bille | 619-0121 | 2 | | 6,34 | |
| Roue à frein | 828-6293 | 4 | | 8,05 | |
| Boite de Vitesse | 5216610 | 1 | | 32,32 | |
| Boite de Vitesse | 5216553 | 1 | | 11,93 | |
| Equerre de fixation | 1766899 | 2 | | 15,58 | Sachet de 5 |
| Feuille en polyéthylène | 7048179 | 2 | | 158,76 | |
| Bouton d'arrêt d'urgence | 330-9388 | 1 | | 30,08 | |
| Résistance | 846-3238 | 1 | | 0,053 | |
| Résistance | 485-1442 | 1 | | 0,907 | |
| Engrenage conique | 1827994 | 1 | | 9,11 | |
| | | | Prix total en euro | | |
| | | | 473,264 | | |

Matériaux utilisés

Les différents arbres utilisés dans la bobineuse seront imprimés en 3D. Pour des raisons économiques les arbres ne seront pas plein mais on utilisera un maillage léger lors de l'impression. Par conséquent, la réalisation des méplats ne nécessitera pas d'usinage car ils sont réalisables directement par impression.

Dans ce projet l'entreprise prévoit d'imprimer en ABS toutes ses pièces sauf contre-indication ou pièce achetée. Ce choix est à la fois pratique et économique.

On prendra également des vis CHC M4 pour tout ce projet sauf contre-indication toujours dans un souci de praticité.

Notre système fait parti des prototypes ce qui nous permet de ne pas avoir trop de contraintes de matériaux ou de dimensions.

Conclusion

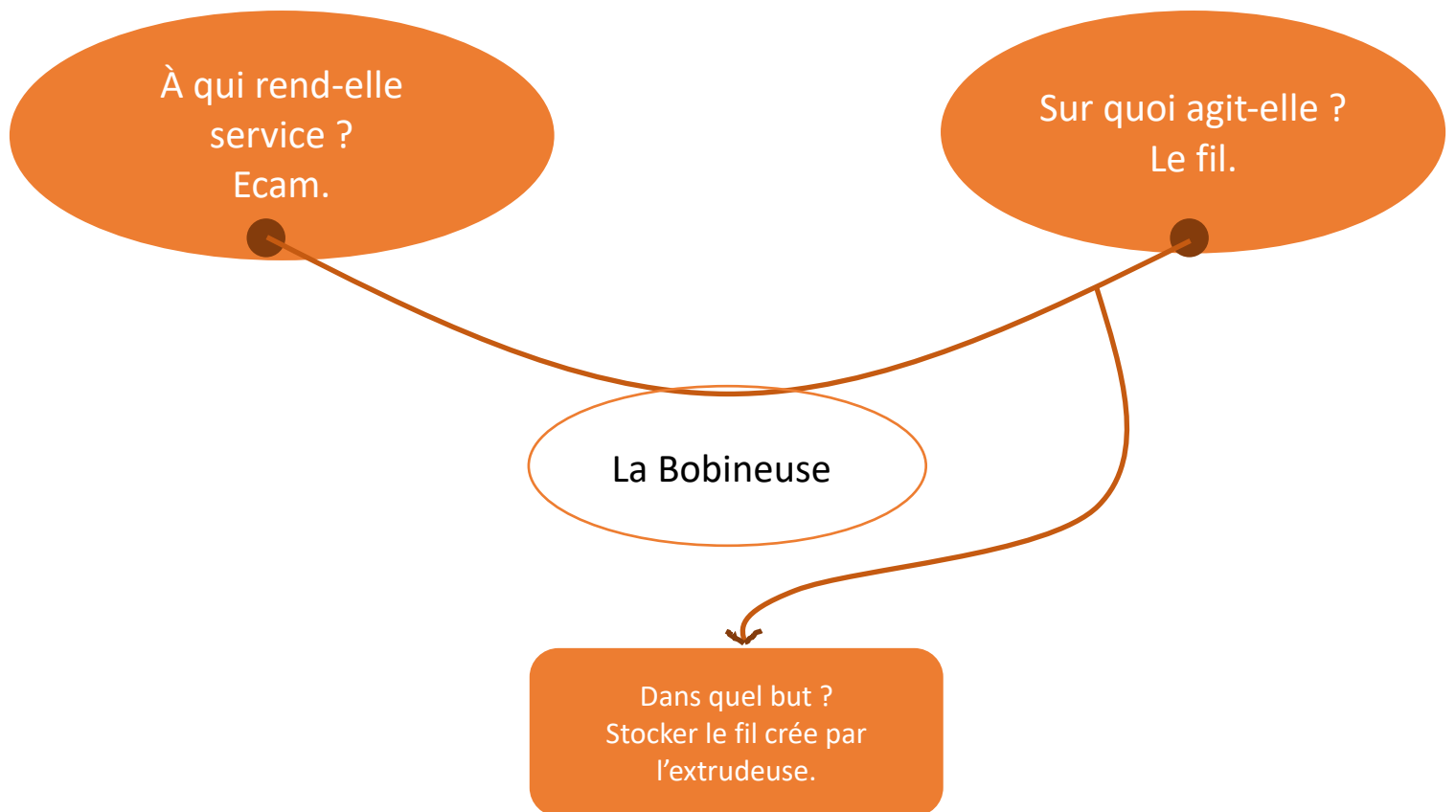
Ainsi, voici notre étude répondant à l'appel d'offre lancé par l'ECAM Lyon. Il fallait concevoir un mécanisme permettant de stocker le fil utilisé par une imprimante 3D sortant de l'extrudeuse. Notre solution, la bobineuse, se rapproche au mieux selon nous de ce besoin exprimé. Le système est fonctionnel et sera fiable pour votre utilisation. Par ailleurs, le coût total reste abordable. Nous espérons vous avoir convaincu et restons à votre entière disposition pour toutes autres demandes.

Cordialement,

L'entreprise F2.

Annexe

1. La bête à cornes



2. Le questionnement

✓ **Quoi ?**

❖ De quel besoin s'agit-il ?

Bobineuse, machine permettant de stocker les fils sortant de l'extrudeuse.

✓ **Qui ?**

❖ Quelles sont les personnes concernées par ce besoin ?

Le personnel et les étudiants d'Ecam 5.

✓ **Où ?**

❖ À quels endroits ?

A l'Ecam au Fablab.

❖ Dans quelles conditions ce besoin est ressenti ?

Lors de l'utilisation de l'imprimante 3D.

✓ **Quand ?**

❖ À quels moments ?

Lors de la création du fil par l'extrudeuse.

❖ À quelle époque est exprimé ce besoin ?

Toute l'année scolaire.

✓ **Comment ?**

❖ Sous quelles formes ?

En l'enroulant autour d'une bobine.

❖ Dans quels cas est ressenti le besoin ?

Lors de l'utilisation de l'imprimante 3D.

✓ **Pourquoi ?**

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

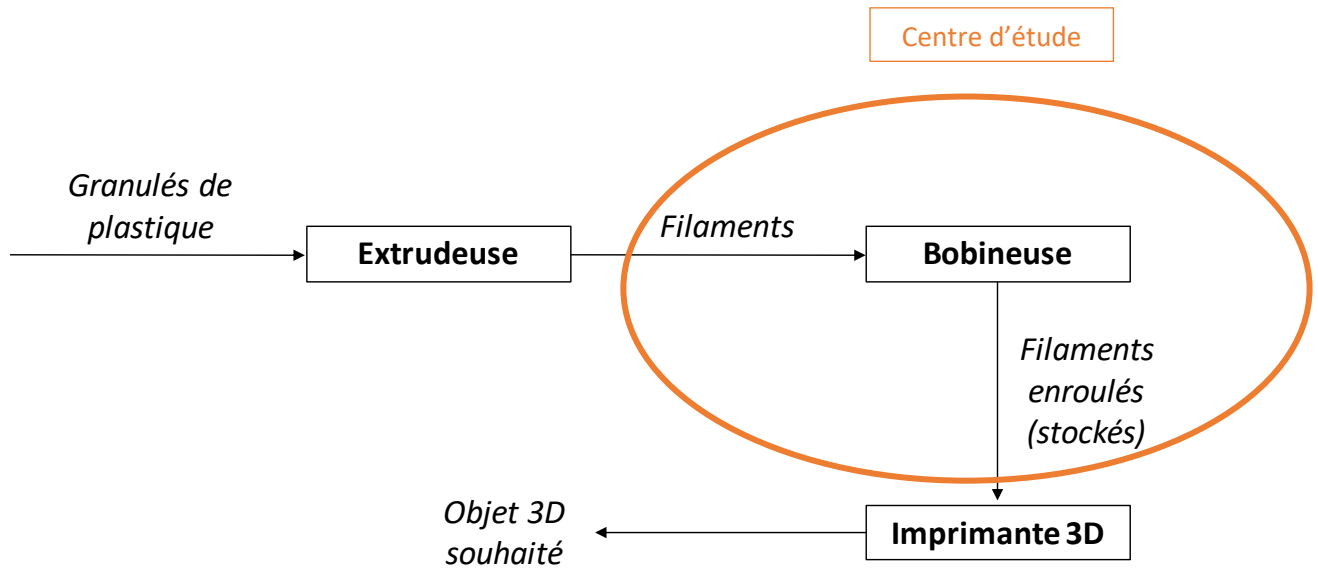
Ranger et stocker de manière compact le fil.

✓ **Combien ?**

❖ Combien de personnes sont concernées par ce besoin ?

300 personnes (Ecam 5 plus le personnel).

3. Production d'un objet à partir d'une imprimante 3D.



4. Matériels RS à acheter

| Matériel | Code commande RS | Quantité | Référence | Prix (TTC) |
|-------------------------------|---------------------|----------|------------------------|------------|
| | | | Ressort | |
| Ressort | 121-163 | 1 | compression/93,5/11,25 | 4,04 |
| Motoréducteur | 420621 | 1 | | 67,55 |
| Potentiomètre | 179-0677 | 1 | 026TB32R5A0B1A1 | 3,53 |
| Boite de Vitesse | 5217506 | 1 | | 4,22 |
| Pignon | 1827983 | 1 | | 19,72 |
| Interrupteur de fin de course | 9026871 | 1 | | 17,65 |
| LED rouge | 6544461 | 1 | | 0,224 |
| Roulette pivotante | 8286293 | 4 | | 32,2 |
| Ecrou à ailes | 521901 | 1 | | 38,4 |
| Poignet de tiroir | 3478181 | 2 | | 21,82 |
| Rondelle plate | 7976070 | 1 | | 14,72 |
| Roulement à bille | 619-0121 | 2 | | 6,34 |
| Roue à frein | 828-6293 | 4 | | 8,05 |
| Boite de Vitesse | 5216610 | 1 | | 32,32 |
| Boite de Vitesse | 5216553 | 1 | | 11,93 |

| |
|--------------------|
| Prix total en euro |
|--------------------|

282,714