

Projet de conception d'une bobineuse

Travaux dirigés par Mr André Ernesto
ECAM 3 – Groupe B2

Auteurs : Louise Vigouroux
Tom Gavage
Raphaël Pelloux
Antoine Duclos
Antoine Looch
Clément Deshormière
Théo Pasquet
Jihao Zhang

Remerciements

En premier lieu, nous tenions à remercier Monsieur André ERNESTO qui a initié ce projet et qui nous a accompagné depuis le début. Il a su nous orienter au fil des séances afin de nous placer dans le rôle de réels ingénieurs en nous exposant toutes les problématiques auxquelles nous devons répondre.

Nous voulions également remercier l'ECAM de mettre à disposition plusieurs machines industrielles qui nous permettent de concevoir des outils réalisables gratuitement au sein de notre école. De plus l'école nous permet de travailler sur des projets d'avenir et d'utilité générale car de tels projets seront utiles aux personnes interagissant sur notre campus.

Table des matières

I) Définition du besoin	4
1) Introduction	4
2) La demande	6
3) Diagramme bête à cornes	7
4) Diagramme pieuvre	8
5) Cahier des charges fonctionnel	9
II) Conception	10
1) Introduction	10
2) Acheminement du fil	10
3) Maintien de la bobine	11
a. Bâti et pièce intérieure 1	11
b. Fixation de la bobine sur l'arbre	12
4) Enroulage du fil	14
5) Coupage du fil	16
a. Description et solution	16
b. Usinage, montage et durée de vie	17
6) Arrêt de la machine	17
7) Fixation	18
III) Dimensionnement	19
1) Les roulements situés sur l'arbre	19
2) Les ressorts	20
3) Le moteur	20
a. Dimensionnement moteur bobine	20
b. Dimensionnement moteur guidage en translation du fil (moteur 2)	21
c. Roulement lié au guidage du fil	23
IV) Conclusion :	24
1) Estimation finale du coût et cahier des charges	24
2) Enrichissement personnel	25
3) Enrichissement technique	25
V) Annexes	26

I) Définition du besoin

1) Introduction

I. Contexte du projet et visée pédagogique

Ce projet a été proposé par Monsieur André Ernesto, professeur de Mécanique travaillant à l'ECAM Lyon. La mise en place de ce travail a permis une immersion fictive dans le monde de l'entreprise car l'appel d'offre émis par le client (Mr Ernesto, le professeur) aux entreprises concurrentes (différents groupes d'élèves) a favorisé l'importance d'innover et de personnaliser son projet.

Il a été mené par un groupe de 8 étudiants en troisième année à l'ECAM Lyon (section Arts et Métiers). Le groupe est composé de Louise Vigouroux, Tom Gavage, Raphaël Pelloux, Antoine Duclos, Jihao Zhang, Antoine Loock, Théo Pasquet et Clément Deshormières. Ensemble, la finalité du projet était de définir le besoin avant de répondre aux problématiques soulevées et de concevoir et réaliser la machine virtuellement dans un premier temps. Un budget a été alloué à ce projet afin de rendre sa conception possible.

Le projet de conception se déroule sur l'année scolaire 2019-2020 et a pour objectif de permettre aux étudiants de concevoir et de modéliser un outil industriel. La création de cet outil a pour intérêt de développer les connaissances techniques des étudiants dans les domaines de CAO et de Mécanique. De plus les différents groupes d'élèves travaillent en autonomie et doivent considérer ensemble les éventuels problèmes environnementaux, énergétiques ou économiques liés aux choix du groupe.

II. La bobineuse a. La machine

L'outil qui a été pensé et modélisé est une bobineuse qui récupère un fil de diamètre variable et l'enroule sur différentes sortes de bobines. Ce projet fait suite à la création d'une extrudeuse l'année précédente qui produit du fil en valorisant du plastique usagé récolté sur le campus de l'école. Cet outil devait pouvoir s'insérer à la suite de l'extrudeuse et leurs utilisations devaient être accordées.



Figure 1 : bobine de fil

La bobineuse doit être mobile et en mesure d'être déplacée car son utilisation n'est pas exclusivement réservée au FabLab. En effet, la bobineuse pourrait être installée à la suite de l'extrudeuse de manière ponctuelle afin de répondre à des besoins particuliers. Également cet outil pourrait être installé dans un atelier afin de rendre sa production continue et pourrait être sujet à des visites pour des intervenants extérieurs à l'ECAM.

b. Les visées de ce projet

Un but écologique : Le contexte actuel du recyclage conduit tous les jours à innover et valoriser nos ressources. Il apparaît que sur le campus, une grande quantité de plastique usagé est disponible. Les professeurs de l'ECAM ont ainsi songé à valoriser ces déchets polluants afin d'allier l'écologie avec la recherche.

Un but économique : Ce travail écologique et éducatif permet ainsi à l'ECAM, d'être auto-suffisant quant à la production de bobine de fil (matière première) destinée à l'utilisation régulière des imprimantes tridimensionnelles. Cette production peut conduire ainsi à de grandes économies si le système de production est à haut rendement.

Un but pédagogique : Les personnes concernées par ce besoin sont principalement les étudiants de l'ECAM, filière Arts et Métiers et Engineering. Néanmoins, les professeurs pourraient également s'appuyer sur la bobineuse lors de leurs cours et travaux pratiques pour en étudier le mécanisme. Un ensemble de 1500 personnes pourrait être ainsi concerné par ce projet (étudiants, professeurs, intervenants extérieurs et industriels)

Un but promotionnel : Cette production Ecamienne peut de plus avoir une visée communicative pour mettre en avant les activités diverses réalisées au sein de notre école ainsi que valoriser l'utilité d'un FabLab.



Figure 2 : FabLab de l'Ecaml Lyon

2) La demande

✓ Quoi ?

❖ De quel besoin s'agit-il ?

Une machine qui enroule du fil et produit des bobines de fil utilisables directement par l'imprimante 3D

✓ Qui ?

❖ Quelles sont les personnes concernées par ce besoin ?

Les étudiants et professeurs de l'ECAM ainsi que l'ensemble des intervenants extérieurs

✓ Où ?

❖ À quels endroits ?

La machine se trouvera proche d'une extrudeuse, dans un atelier ou le FabLab de l'ECAM

❖ Dans quelles conditions ce besoin est ressenti ?

Optimisation des ressources, considérations écologiques et économiques, besoin pédagogique innovant

✓ Quand ?

❖ À quels moments ?

Au cours de l'année d'ECAM 3 : La machine devra être opérationnelle en Juin (10 mois de projet)

❖ À quelle époque est exprimé ce besoin ?

En Septembre 2019 durant l'année scolaire d'ECAM 3 depuis la création de l'extrudeuse

✓ Comment ?

❖ Sous quelles formes ?

Une machine industrielle capable de fonctionner en continu

❖ Dans quels cas est ressenti le besoin ?

Grand besoin de fil et volonté de réaliser un projet éducatif intéressant

✓ Pourquoi ?

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

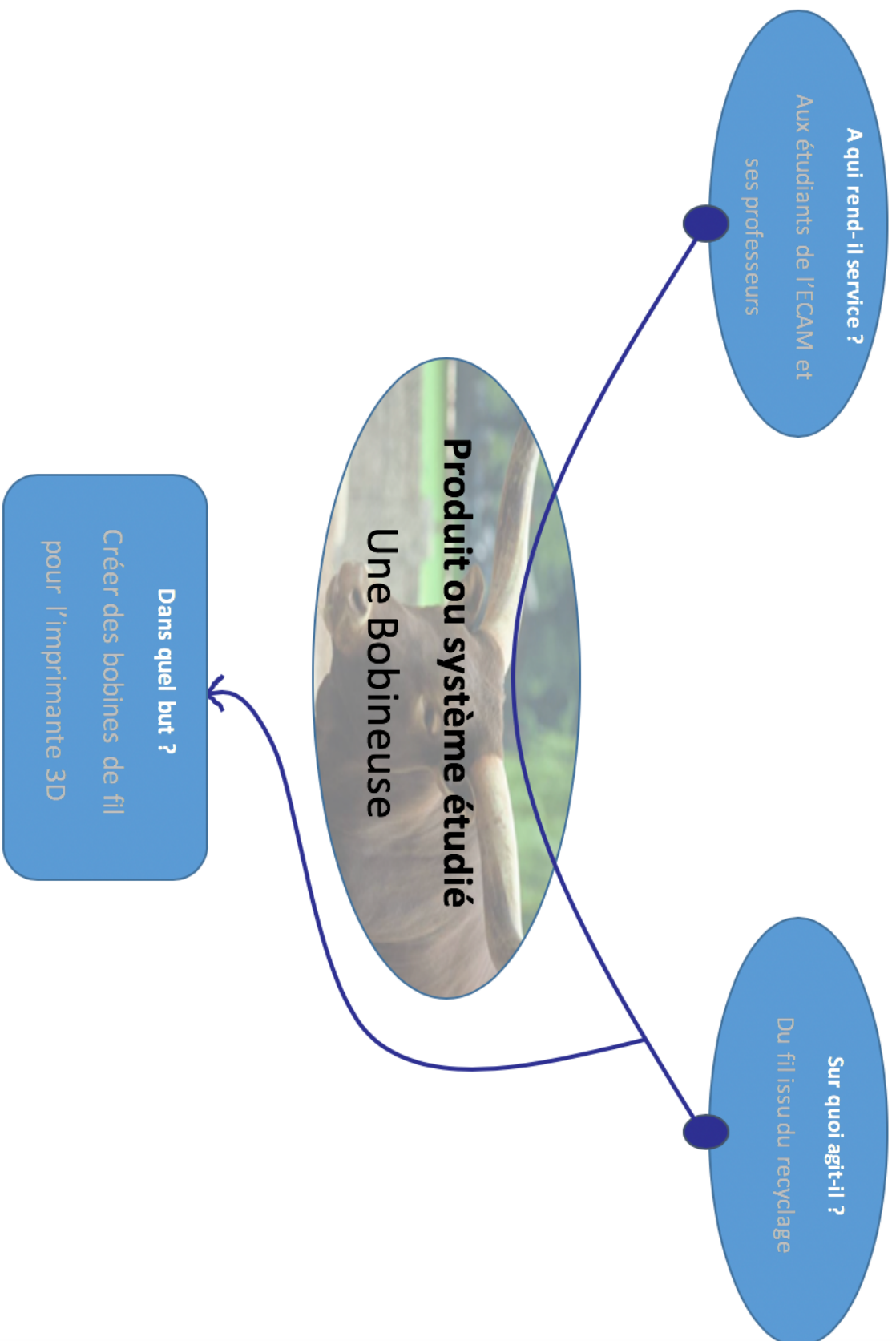
Pour des raisons économiques, écologiques et pédagogiques

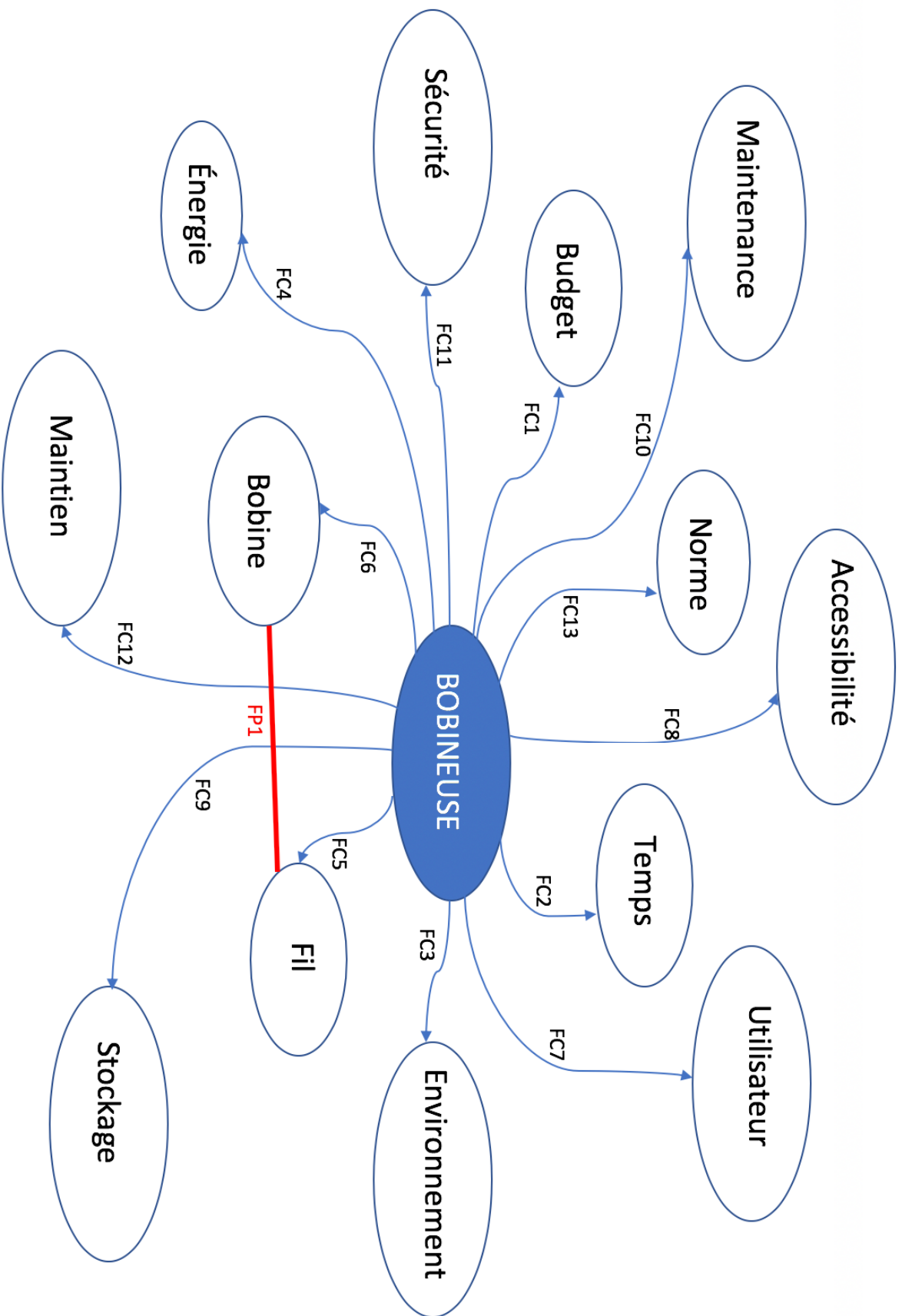
✓ Combien ?

❖ Combien de personnes sont concernées par ce besoin ?

A peu près 1500 personnes sur le campus de l'ECAM.

3) Diagramme bête à cornes





4) Diagramme pieuvre

5) Cahier des charges fonctionnel

	No	Désignation	Critère	Niveau	Flexibilité
I) Budget	FC1	Respectez le budget	Budget max	750 €	0
	FC1-1	Utiliser des matériaux éco	Limitier le plastique	""	1
	FC1-2	Composants simples	""	""	1
II) Temps	FC2	Respecter les échéances	Date limite	janvier	0
III) Environnement	FC3	Tenir compte de l'environnement	""		1
	FC3-1	Matériaux biodégradables	""		1
	FC3-2	Limitier consommation	""		1
	FC3-3	Limitier les pertes en conception	""		
IV) Energie	FC4	Utilisation adéquate de l'énergie			
	FC4-1	Adaptation à l'alimentation disponible	Type d'alimentaion	électrique 203V	0
	FC4-2	Limitation la consommation			1
V) Fil	FP1	Enrouler le fil	Vitesse de l'extrudeuse	0-11 mm/s	0
	FP1-1	Adapter la vitesse de bobinage à celle d	Vitesse moteur		0
	FP1-2	S'adapter à la taille du fil	diamètre	entre 1,5mm et 3mm	
	FP1-3	Enrouler de manière ordonnée	Couches uniformes		1
VI) Bobine	FC1	Arrêter la bobine quand elle est pleine	Poids de la bobine pleine		0
	FC1-1	Couper le fil quand bobine pleine ou e	""		1
	FC1-2	Prevenir l'utilisateur	""		2
	FC1-3	S'adapter au diamètre de la bobine	diamètre	entre 52mm et 54mm	1
	FC1-4	Tenir le fil	""		1
VII) Utilisateur	FC4	Accéder facilement à la bobine (fixer le	""	opération de quelques	2
	FC4-1	Facilité de montage/démontage de la b	""	secondes maximum	1
VIII) Accessibilité	FC5	Comprendre facilement le système	""		2
	FC5-1	Système visible (transparence) et fonct	""		2
	FC5-2	Fiche explicative	""		2
	FC5-3	Interface Homme Machine (IHM) simp	""		2
IX) Stockage	FC6	Stocker les bobines vides et pleines (s	Rapidité de stockage		2
X) Maintien	FC7	MIP et MAP simple de la bobine sur l'a	""		1
	FC7-1	Etre adaptée à n'importe quelle bobine	""		1
XI) Sécurité	FC8	Mettre en place une sécurité	""		1
	FC8-1	Système arrêt d'urgence	bouton-poussoir d'arrêt d'urgence		1
	FC8-2	Sécurisation du réseau électrique/chak	""		1
	FC8-3	passer la caméra thermique en sortie d	""		2
	FC8-4	Formation avant utilisation	""		2
	FC8-5	Ecran avec la vitesse/type de fil	"		2
XII) Maintenance	FC9	Prévoir une maintenance facile	""		1
	FC9-1	Changement facile des pièces d'usure	""		1
	FC9-2	Nettoyage du système après utilisation	""		1
XII) Norme	FC10	Respecter les différentes normes	""		0
	FC10-1	Répertorier la provenance des compos	""		1
	FC10-2	Pas de pièces trop lourdes	""	ordre de grandeur de l'extrudeuse	0
	FC10-3	Possibilité d'être mise à l'extérieur	""		0
	FC10-4	Les conditions d'utilisation de doivent	""		0
	FC10-5	Poids et taille max/Température Max	""		1
	FC10-6	Fiche explicative fonctionnement	""		2

II) Conception

1) Introduction

Pour la conception de la bobineuse, plusieurs bobines nous ont été mises à disposition. En effet l'outil à concevoir devait enrouler le fil de l'extrudeuse sur différentes sortes de bobines de dimensions variables.

Les dimensions variant le plus suivant les bobines sont répertoriées dans ce tableau :

N° de Bobine	1	2	3	Moyenne
Diamètre intérieur (mm)	54	55	52	53,6
Largeur d'enroulage (mm)	47	41	56	48
Largeur avec rebords (mm)	52	49	62	54,3
Diamètre extérieur (mm)	198	200	199	199

Pour la conception de la bobineuse, nous avons ainsi divisé la machine en quatre sous-ensembles :

- Acheminement du fil : Théo Pasquet et Antoine Duclos
- Maintien de la bobine et enroulage : Louise Vigouroux, Raphaël Pelloux, Tom Gavage
- Guidage du fil : Clément Deshormières
- Coupage du fil et système d'arrêt : Antoine Looock et Jihao Zhang (système d'arrêt)

Ces trois sous-ensembles sont détaillés dans les paragraphes suivants et un dessin d'ensemble a été réalisé pour chacun d'eux.

2) Acheminement du fil

Pour amener le fil de la sortie de l'extrudeuse jusqu'à la bobine, il fallait créer un système d'acheminement qui disciplinerait le fil avant son enroulage sur la bobine. Pour ce faire nous avons mis en place une succession de trois poulies à gorge fixées sur un support qui permettront de créer la ligne de guidage que doit suivre le fil. En effet, la gorge permet d'éviter que le fil ne sorte de cette ligne et donc d'être acheminé correctement.

Ce sous ensemble est représenté dans le dessin *Sous Ensemble 1*.



Figure 3 : Poulie à gorge

En faisant varier la hauteur des supports et donc des poulies puis en faisant passer le fil successivement en haut et en bas de celles-ci, le fil est pincé entre les poulies et sa ligne de guidage est assurée.

Ainsi, nous avons imaginé deux supports de taille identique et un légèrement plus grand. Ces supports sont constitués d'un socle et d'une tige au sommet duquel sera placé l'arbre de notre poulie.

Ces deux constituants sont fixés à l'aide d'une vis et d'une équerre permettant d'assurer la perpendicularité entre les deux. Les deux pièces seront en bois puis fabriquées à l'aide de la machine à découpe laser du FabLab et ensuite usinées à l'aide d'un CUCN.

Quant à l'arbre autour duquel va tourner la poulie, celui-ci est en fait une vis située au sommet de la tige. Cela permet de fixer l'arbre sur le support à l'aide d'un écrou à collerette. Ainsi la poulie sera placée sur la partie non filetée de la vis et l'on réalisera ses arrêts axiaux à l'aide de deux entretoises situées de part et d'autre de la poulie.

L'avantage principal de cette solution est qu'elle permet à l'opérateur de faire passer le fil beaucoup plus facilement dans les poulies au début du cycle d'enroulage d'une bobine sans être gêné par le support. En outre, cette solution présente aussi un avantage économique du fait de la simplicité des composants utilisés.

Estimation du coût :

- Bois : 25€
- 12 vis M6 de longueur $l = 30mm$: 20€
- 3 vis M6 de longueur $l = 60mm$ et $l = 40mm$ non taraudé : 5€
- 3 poulies à gorge : 10€
- 6 entretoises de diamètre intérieur $d = 6mm$: 6€
- 3 écrous à collerette M6 : 6€
- 3 équerres de largeur $l = 20 mm$: 3€
- Usinage CUCN : ECAM
- Découpe laser : ECAM

Le coût de ce sous-ensemble est estimé à 75€.

3) Maintien de la bobine

a. Bâti et pièce intérieure 1

Pour la solution technique du maintien de la bobine, nous avons dessiné trois pièces pour répondre aux besoins de notre cahier des charges. Les dessins de ces trois pièces sont joints à ce dossier et dénommés :

- Pièce intérieure 1
- Arbre 1
- Bâti

De plus le montage de la solution technique est détaillé dans le dessin du *Sous Ensemble 2*.

La pièce intérieure viendra se fixer à l'intérieur du bâti car sa réalisation nécessite un usinage précis que l'on obtiendra grâce à l'impression tridimensionnelle. La production du support nécessite lui, beaucoup de matière, il apparaît donc plus efficace de diviser cette pièce en deux. En effet en créant la pièce intérieure 1, le support peut être fabriqué en bois de récupération et la géométrie intérieure de ce support sera produit précisément en impression tridimensionnelle. Enfin l'ensemble sera fixé grâce à deux vis pour assurer le maintien et la mise en position de ces deux pièces l'une par rapport à l'autre.

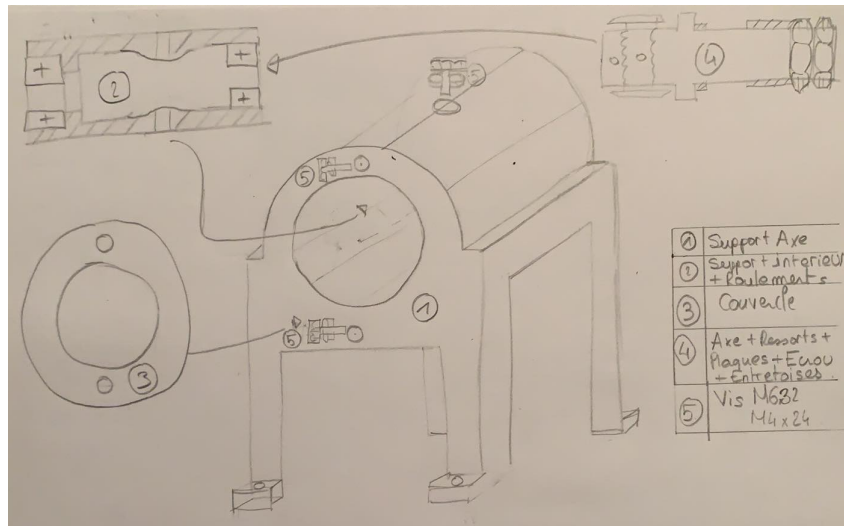


Figure 4 : Schéma illustrant le sous-ensemble 2

b. Fixation de la bobine sur l'arbre

Pour le maintien de la bobine sur l'arbre, les avis du groupe divergeaient et différentes solutions technologiques ont été proposées.

Solution 1 : Utilisation d'un mandrin industriel

Ce système assure une adaptation idéale aux diamètres des bobines mais son coût est très important. Le mandrin serait normalisé et acheté dans le commerce pour être directement fixé en bout d'arbre. La fixation en bout d'arbre apparaît compliquée.

Solution 2 : Utilisation d'entretoises

La fabrication d'entretoises pour chacun des diamètres assurerait une mise en position mais nécessiterait en plus, un maintien en position. La production sera peu coûteuse (impression tridimensionnelle). Cette solution ne semble pas optimale car elle nécessite une manipulation de l'utilisateur lors de chaque changement de bobines avec de nombreux diamètres différents.

Solution 3 : Utilisation de ressorts

L'implantation des ressorts permettrait de s'adapter parfaitement aux différents diamètres des bobines. Nous pourrions ainsi insérer des ressorts au sein de l'arbre qui s'adapteront en compression aux différents diamètres des bobines. Cette solution a un coût faible.

Pour choisir la solution idéale vis-à-vis de nos critères, nous avons réalisé un tableau de choix :

Entreprise : Groupe B2 Prénom NOM : Vigouroux Louise		Tableau de choix : Solution pour maintenir différentes bobines					
		SOLUTION TECHNOLOGIQUE					
CRITÈRE	PONDÉ- RATION	Solution n° 1 : Les ressorts	TOTAL	Solution n° 2 : Les entretoises	TOTAL	Solution n° 3 : Le mandrin	TOTAL
Facilité d'emploi	2	1	2	2	4	2	4
Coût	2	3	6	2	4	0	0
Adaptation aux diamètres	3	3	9	1	3	3	9
Maintien	3	3	9	1	3	3	9
Facilité de montage	2	2	4	2	4	1	2
TOTAL		30		18		24	

En effet, il apparaît que l'utilisation de ressorts est idéale car elle assure à la fois un maintien de la bobine seulement grâce à la mise en position mais elle permet également une adaptation parfaite aux différents diamètres. Sa réalisation est de plus très peu coûteuse. L'utilisateur devra serrer les différentes plaques caoutchouteuses, positionner sa bobine puis relâcher les différentes parties. La bobine sera alors encastrée à l'arbre et permettra un enroulage du fil optimal. Le mandrin était également une bonne solution technologique mais son coût était trop élevé et le montage au bout de l'arbre, trop complexe.

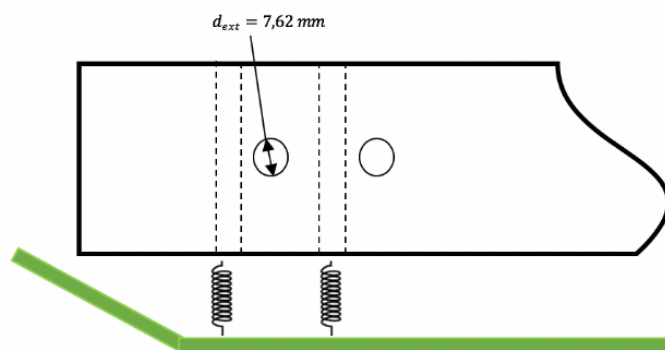


Figure 5 : Schéma du montage

Ainsi nous fixerons aux extrémités des ressorts des plaques suivant la forme de l'axe sur lesquelles seront fixés des lamelles de caoutchouc afin d'assurer l'adhérence avec le diamètre intérieur de la bobine. Cette solution est adaptable dans notre cas car les efforts à transmettre afin de réaliser la liaison encastrement sont relativement faibles. Si les efforts avaient été plus importants, il aurait été nécessaire d'utiliser des clavettes/cannelures.

La mise en place de cette solution technique nécessite l'utilisation de quatre ressorts. La fixation des morceaux de caoutchouc s'effectuera avec de la colle.

Pour accompagner la rotation de l'arbre par rapport au support, il a été choisi d'utiliser en plus deux roulements à billes (Voir III.1. Pour le dimensionnement).

L'arbre d'entraînement aura ainsi une géométrie complexe car il doit pouvoir accueillir les 4 supports en caoutchouc et doit assurer les arrêts axiaux des roulements.

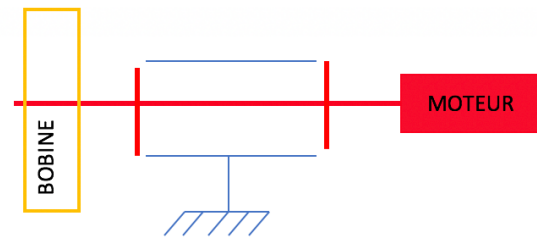


Figure 6 : Schéma cinématique du Sous Ensemble 2

Estimation du coût :

- Support en bois de récupération : 10€
- Pièce intérieure 1 : ECAM
- Arbre en acier $\varnothing = 45mm$ et $l = 246mm$: 15€
- Usinage sur TCN : ECAM
- 2 vis CHC M6x32 (capot) : 2€
- 2 vis CHC M4x24(arbre et pièce intérieure 1) : 2€
- 4 rondelles M5 : 2€
- 4 ressorts Sodemann : 18,76€ (voir III. Pour le dimensionnement)
- 2 roulements à billes : 15 €
- 2 écrous : 10€
- 2 entretoises : 10€
- 1 moteur CC : 160€
- Contrôleur de moteur : 15,52€

Le sous ensemble fixation de la bobine sur le support représenterai ainsi un minimum de 75€ si l'usinage de l'arbre et l'impression de la pièce intérieure 1 sont possibles au sein du FabLab de l'ECAM.

4) Enroulage du fil

Il faut pouvoir translater le fil qui vient s'enrouler sur la bobine afin d'avoir un enroulage homogène sur toute la largeur de cette dernière.

Pour ce faire, nous avons deux solutions :

- Un système de bielle-manivelle faisant translater une pièce sur un rail afin d'avoir une course de la largeur de la bobine.
- Un système avec un servomoteur faisant varier l'angle de la pièce guidant le fil afin de couvrir la largeur de la bobine.

La première solution a rapidement été retenue, en effet la largeur de la bobine fait que les dimensions de la pièce guidant le fil pour la deuxième solution étaient disproportionnées par rapport à la bobineuse. De plus, l'utilisation en mode « rapide » de la bobineuse aurait engendré des problèmes en raison de l'inertie qu'aurait eu cette pièce en variant d'angle à haute fréquence.

Il fallut désormais trouver une pièce adaptée pour guider le fil.

La première idée était un simple cube en plastique avec une entaille en V qui translaterait sur deux rails. Mais les frottements engendrés au niveau de l'entaille auraient causé une usure trop rapide de la pièce et le système aurait été défectueux, abîmant le fil à son passage.

Nous avons donc opté pour un roulement à roulette afin qu'il n'y ait aucun frottement avec le fil, le roulement tournant au contact du fil.

Afin de pouvoir translater cet élément, la conception d'une pièce pour se coller au roulement fut effectuée. Cette pièce va ainsi pouvoir se coller sur la bague intérieure du roulement, tout en translatant également sur le rail. Ensuite, une extrusion est prévue avec un taraudage afin que la bielle puisse se fixer à cette pièce avec un système de contre-écrou, mais sans empêcher sa rotation autour de cette extrusion.

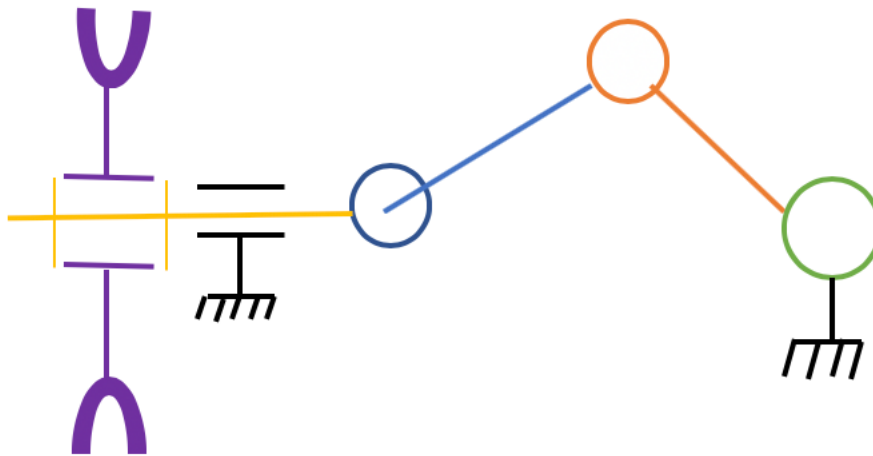


Figure 7 : Schéma cinématique du sous ensemble 3

De plus, notre système doit pouvoir s'adapter à plusieurs bobines de taille différentes. La distance dont doit translater le fil pour remplir un étage sur la bobine est donc amenée à varier. Pour ce faire, la liaison pivot entre la roue (manivelle) et la bielle est réglable à l'aide d'un axe mobile pouvant translater dans un trou oblong et que l'on serre contre la roue par le biais de deux écrous : plus l'axe est loin du centre de la roue plus la translation du fil est grande et inversement.

Estimation du coût :

- Roulement à roulette : 10€
- Rail en acier : 10€
- Liaison bielle-manivelle : ECAM
- Fixation rail : ECAM
- Support roue et moteur : ECAM
- Roue : ECAM
- Axe mobile acier : 1€
- Moteur CC : 34€
- Bielle : ECAM
- Accouplement roue-moteur : 7€
- Contrôleur de moteur : 15,52€

5) Coupage du fil

a. Description et solution

Ce sous-ensemble devra remplir deux fonctions principales : bloquer et sectionner le fil. Ces deux actions devront être liées et pouvoir être effectuées en un seul mouvement, dans un premier temps le fil sera bloqué puis coupé (et non l'inverse pouvant causer des problèmes de retour de fil).

La contrainte associée à ce sous-ensemble est que, comme expliqué précédemment, les deux fonctions doivent être liées dans la première partie du mouvement (blocage/coupage) puis indépendante dans la seconde partie. En effet une fois le fil coupé, celui-ci doit être maintenu fixe même après la remontée de la lame ce qui explique pourquoi les deux actions doivent pouvoir être dissociées l'une de l'autre.

La solution retenue se base sur l'exploitation du « point dur » d'un matériau plastique, le tube carré sur lequel sera fixé la lame viendra appuyer sur cette partie plastique situé au-dessus du fil, passant ainsi le point dur de celui-ci et venant plaquer fermement le fil contre le support. La lame pourra ainsi remonter tout en assurant le maintien du fil.

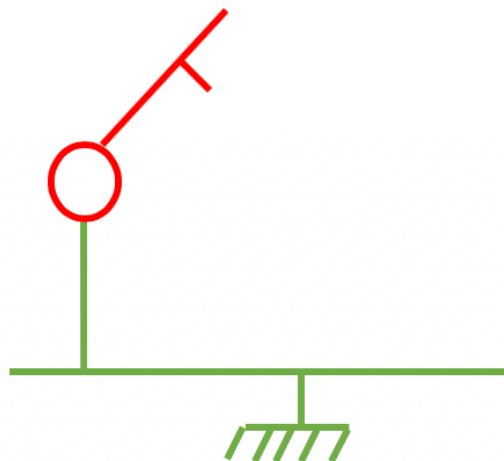


Figure 8 : Schéma cinématique du sous ensemble 4

Estimation du coût :

- Plateau support (aluminium) : 20€
- 2 supports partie plastique (aluminium) : 7€
- 2 supports axe : 9€
- Partie plastique : 4€
- 2 roulements à billes $D_{ext} = 20mm$: 8€
- Axe tube (aluminium) : 4€
- Lame : récupération
- Support lame (aluminium) : 5€
- 4 Vis M6x20 : 6 €
- Usinage : ECAM
- 2 Circlips : 3€

Coût approximatif total : 60€ (ce coût peut varier suivant les matériaux dont dispose déjà l'ECAM.)

Le choix de l'aluminium est principalement dû à la robustesse et la stabilité que doit avoir ce sous-ensemble. De l'impression 3D ne pourrait pas supporter les contraintes exercées. De plus le poids de l'aluminium facilitera le maniement et la prise en main du coupe fil lors de la phase de coupe, contrairement à du plastique.

b. Usinage, montage et durée de vie

L'usinage des différentes pièces est très simple et pourra être effectué sur une fraiseuse conventionnelle pour les pièces carrées et sur un tour conventionnel pour les pièces cylindriques, l'utilisation de machines CN n'est pas indispensable.

En ce qui concerne le montage, celui-ci ne posera pas de problèmes particuliers dû à la géométrie très simple des différentes pièces à assembler, le démontage pourra s'effectuer très rapidement en cas de besoins précis ou de maintenance.

Le facteur « durée de vie » ne pourra qu'être pris en compte au niveau de la lame car c'est la seule pièce d'usure de ce sous-ensemble, celle-ci pourra s'émousser avec le temps pouvant nuire à la découpe du fil, c'est pourquoi elle doit pouvoir être changée très facilement par l'opérateur, ou tout simplement retirée pour être affûtée.

6) Arrêt de la machine

Afin d'interrompre la rotation de la bobine lorsque cette dernière est pleine nous avons décidé d'utiliser un Interrupteur de fin de course :

Sur la bobineuse, nous avons installé un commutateur de course supérieure qui se déplace par rapport à celle-ci. Cet interrupteur est directement connecté à la source de tension du moteur afin que la rotation de la bobine s'arrête lorsque l'alimentation du moteur est coupée.

La butée au point fixe est installée à la position fixe ou, à la position d'installation opposée. Lorsqu'il s'effectue un contact mécanique entre l'interrupteur de course et la butée, le circuit de commande est coupé (ou modifié) et la machine s'arrête ou change de fonctionnement. En raison du mouvement d'inertie de la machine, cet interrupteur a une certaine "surcourse" qui le protège des possibles dommages liés aux chocs.

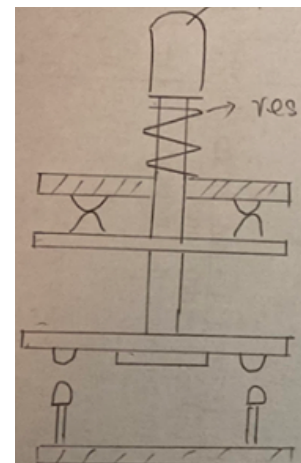


Figure 9 : capteur de fin de course

Dans le cas d'une utilisation réelle, l'interrupteur de fin de course est installé dans une position prédéterminée. Lorsque le module touche l'interrupteur de course, le contact de l'interrupteur de fin de course agit pour réaliser la commutation du circuit. Par conséquent, le commutateur de course est un appareil électrique qui commute le circuit en fonction de la position de course de la pièce mobile et dont la fonction est similaire à celle d'un bouton.

7) Fixation

Mobilité : La bobineuse se divise en plusieurs sous-ensembles ce qui ne facilite pas sa mobilité, c'est pourquoi un plateau support de fixation doit être conçu en parallèle pour pouvoir la déplacer. Ce support pourra aussi faciliter la cratérisation du tout mais aussi la liaison avec l'extrudeuse en créant une liaison fixe entre le plateau de l'extrudeuse déjà existant et le plateau de la bobineuse.

Pour les déplacements, celle-ci devra pouvoir circuler sans problème au sein de bâtiments en ayant la possibilité de passer des portes, des cages d'escalier etc....

Dimension Porte	Porte d'entrée	Porte d'intérieur
Largeur Porte	Entre 73 et 93 cm	Entre 63 et 93 cm
Hauteur Porte	2 m 15	2 m 04

Figure 10 : Dimension porte standard

En comparant les dimensions standard de porte, le plateau ne devra impérativement pas passer **63cm de largeur**, la hauteur ne sera à priori pas un problème.

Une fois le plateau construit, celui-ci pourra potentiellement venir se fixer sur un chariot roulant de façon à faciliter accroître sa mobilité.

Le support de l'axe sera fixé sur le bâti par le biais de 4 vis M6. Des trous ont été percés à cet effet.

Maintenance : Les différents sous-ensembles devront obligatoirement pouvoir être démontés du plateau support pour des questions d'entretien et/ou pouvoir subir de potentielles modifications.

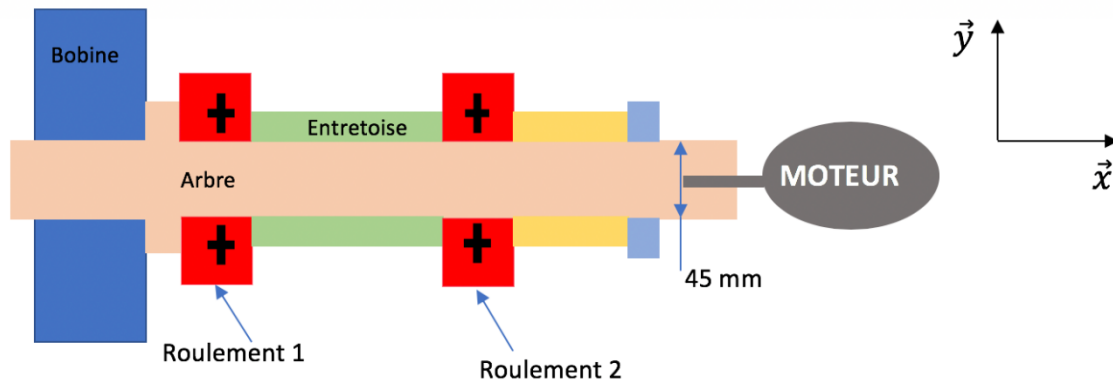
Fonctionnement : La bobineuse est liée à l'extrudeuse par un fil (axe) suivant une trajectoire rectiligne jusqu'à l'arrivée dans la bobine. Pour ces raisons, il est très important que chaque sous-ensemble soit placé de manière cohérente afin d'obtenir un meilleur enroulement. En effet le fait de produire un plateau obligeront les sous-ensembles à être situé au même endroit, ainsi obtenir une récurrence dans les résultats et augmenter leur fiabilité.

Par exemple, le coupe/bloque fil devra être placé à la même distance à chaque fois entre l'extrudeuse et la bobine et parfaitement dans l'axe du fil.

III) Dimensionnement

1) Les roulements situés sur l'arbre

Schéma du montage :



Données de l'arbre pour le dimensionnement : $L = 246 \text{ mm}$ et $R = 22,5 \text{ mm}$

Les roulements choisis ici sont des roulements à billes car l'effort axial (uniquement les vibrations engendrées lors du fonctionnement de la bobineuse) et car ce sont les moins chers.

Efforts présents sur les roulements :

Nous considérons ici uniquement les efforts liés au poids des composants, les vibrations sont négligées pour notre système car peu importantes.

- Poids maximum de la bobine : 1 kg
- Poids de l'arbre : l'arbre est en acier, d'un diamètre de 45 mm sur une longueur de 246 mm, ainsi $P_{\text{arbre}} = \pi \times (22,5 \cdot 10^{-3})^2 \times (246 \cdot 10^{-3}) \times 7800 = 3,05 \text{ kg}$
- Le poids des autres composants est négligé devant le poids de ces deux.

Nous affectons au système un coefficient de sécurité : $s = 2$.

De cette manière nous obtenons un effort total sur les roulements de $F = 79,5 \text{ N}$.

Étant donné la configuration du système, l'effort est supposé entièrement appliqué sur le roulement 1 car c'est le plus proche de la bobine. Afin de sécuriser au maximum cette bobineuse, nous considérerons que l'autre roulement sera identique au premier.

Rotation de l'arbre en tours/min :

$$\omega = \frac{C}{R} = \frac{30}{2,25} = 13,3 \text{ rad.s}^{-1} = 127 \text{ trs.min}^{-1}$$

Pour cette étude, la vitesse maximum de l'arbre est de 127 tours/min, et la durée de vie souhaitée des roulements est d'un million de tours.

Sachant que $L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3$ pour les roulements à billes, avec L_{10} la durée de vie, C la charge de base en Newton qui permet de déterminer le roulement nécessaire et P qui vaut dans le cas

présent la charge radiale, $F = 79,5N$. En effet dans cette modélisation, la charge axiale est supposée nulle.

De cette manière, il faut $C \geq P \times \sqrt[3]{L_{10}}$ soit $C \geq 79,5 \times \sqrt[3]{1.10^6} = 795 \text{ daN}$

Grâce à la table de dimensionnement des roulements à billes (voir Annexe), le roulement pour notre système a un diamètre intérieur de $d_{int} = 45 \text{ mm}$, diamètre extérieur de $d_{ext} = 75 \text{ mm}$ et une largeur de $l = 16 \text{ mm}$.

2) Les ressorts

Nous avons décidé d'utiliser 4 ressorts. Le poids d'une bobine pleine est estimé à $P_{bob} = 1 \text{ kg}$.

Ainsi la puissance maximale sur un ressort est $P_{max} = 0,5 \text{ kg}$

La force maximale est ainsi : $F_{max} = 4,9 \text{ N}$

La déformation maximum acceptée pour notre système est de $def_{max} = 7 \text{ mm}$.

Le diamètre des bobines à remplir est variable et $52 \text{ mm} < D_{bobine} < 55 \text{ mm}$ donc le support en caoutchouc sera d'une épaisseur de $e = 2 \text{ mm}$.

Schéma du système ressort-caoutchouc :

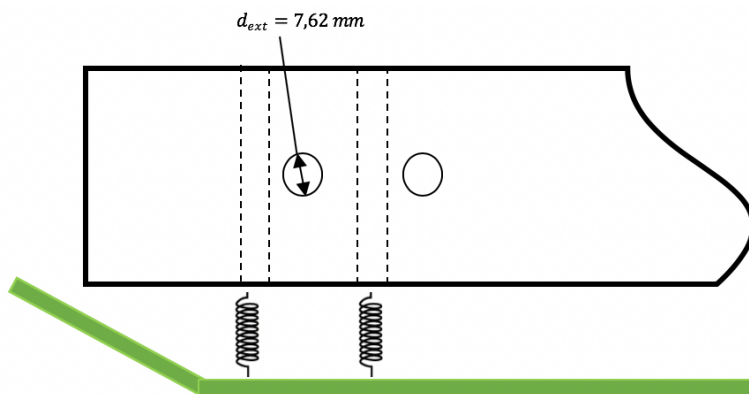


Figure 11 : Schéma du montage

En utilisant le site internet [traceparts](http://traceparts.com), les ressorts sélectionnés sont de la marque **Sodemann** et leur référence est : **C03000512250M**

Son diamètre extérieur est de $D_{ext} = 7,62 \text{ mm}$

Son coût est de : $Prix_{unité} = 4,69\text{€}$

3) Le moteur

a. Dimensionnement moteur bobine

Vitesse minimale du moteur bobine : (fil provenant de l'extrudeuse)

Données :

- vitesse minimale de sortie du fil : $V_{min} = 15 \text{ mm.s}^{-1}$
- diamètre de la bobine : $D_b = 45 \text{ mm}$

$$V_{min} = \left(\frac{D_b}{2}\right) * \omega_{min}$$

$$\omega_{min} = V_{min} * \frac{2}{D_b} = 0,66 \text{ rd.s}^{-1} = 0,11 \text{ rd.s}^{-1} = \mathbf{6,6 \text{ tr.min}^{-1}}$$

Vitesse maximale du moteur bobine : (fil provenant de chutes de bobines)

Données :

- vitesse maximale de sortie du fil : $V_{max} = 200 \text{ mm.s}^{-1}$

- diamètre de la bobine : $D_b = 45 \text{ mm}$

$$V_{max} = \left(\frac{D_b}{2}\right) * \omega_{max}$$

$$\omega_{max} = V_{max} * \frac{2}{D_b} = 8,89 \text{ rd.s}^{-1} = 1,41 \text{ tr.s}^{-1} = \mathbf{84,6 \text{ tr.min}^{-1}}$$

Donc pour la vitesse de rotation du moteur de la bobine :

$$\mathbf{6,6 \text{ tr.min}^{-1} \leq \omega_{bobine} \leq 84,6 \text{ tr.min}^{-1}}$$

Le moteur choisi est un moteur CC de référence RS 773_6784. Nous avons décidé d'utiliser un motoréducteur afin d'assurer une vitesse de $\omega = 85 \text{ trs.min}^{-1}$ qui ne nécessite l'ajout d'un système de roue et vis sans fin ou d'engrenages.

b. Dimensionnement moteur guidage en translation du fil (moteur 2)

Vitesse minimale du moteur 2 :

Données :

- vitesse de rotation minimale de la bobine : $\omega_{min} = 0,11 \text{ tr.s}^{-1} = 6,6 \text{ tr.min}^{-1}$

- diamètre minimal du fil : $D_{min} = 1,5 \text{ mm}$

- diamètre de la bobine : $D_b = 45 \text{ mm}$

- longueur maximale de la bobine : $L_{max} = 58 \text{ mm}$

Temps de remplissage d'un étage de fil :

$$\text{Nombre de tour pour un aller : } n = \frac{L_{max}}{D_{min}} = 38,67 \text{ trs}$$

Il faut donc $n = \mathbf{38 \text{ trs}}$ pour remplir un étage de fil.

$$t_{1\text{tour}} = \frac{1}{\omega_{min}} = \mathbf{9,1 \text{ s}}$$

La bobine fait un tour en $\mathbf{9,1 \text{ s}}$.

$$t_{aller} = n * t_{1\text{tour}} = \mathbf{346 \text{ s}}$$

Vitesse minimale du moteur 2 :

Sachant qu'avec le système bielle manivelle un tour de manivelle correspond à un aller-retour pour la pièce guidant le fil sur la longueur de la bobine, le temps pour la roue d'effectuer un tour correspond au temps qu'il faut pour faire deux fois un aller avec le fil sur la bobine.

On a donc : $t_{tourbobine} = 2 * t_{aller}$

$$\text{Ainsi, } \omega_{2min} = \frac{1}{t_{tourbobine}} = \frac{1}{2 \times t_{aller}} = 1,4 \times 10^{-3} tr.s^{-1} = \mathbf{8,4 \times 10^{-2} tr.min^{-1}}$$

Vitesse maximale du moteur 2 :

Données :

- vitesse de rotation maximale de la bobine : $\omega_{max} = 1,41 tr.s^{-1} = 84,6 tr.min^{-1}$

- diamètre minimal du fil : $D_{max} = 3 mm$

- diamètre de la bobine : $D_b = 45 mm$

- longueur minimale de la bobine : $L_{min} = 41 mm$

Temps de remplissage d'un étage de fil :

Nombre de tour pour un aller : $n = \frac{L_{min}}{D_{max}} = 13,67 trs$

Il faut donc $n = \mathbf{13 trs}$ pour remplir un étage de fil.

$$t_{1tour} = \frac{1}{\omega_{max}} = \mathbf{0,71 s}$$

La bobine fait donc un tour en $\mathbf{0,71 s}$.

$$t_{aller} = n * t_{1tour} = \mathbf{9,2 s}$$

Vitesse maximale du moteur 2 :

Sachant qu'avec le système bielle manivelle un tour de manivelle correspond à un aller-retour pour la pièce guidant le fil sur la longueur de la bobine, le temps pour la roue d'effectuer un tour correspond au temps qu'il faut pour faire deux fois un aller avec le fil sur la bobine.

On a donc : $t_{tourbobine} = 2 * t_{aller}$

$$\text{Ainsi, } \omega_{2max} = \frac{1}{t_{tourbobine}} = \frac{1}{2 \times t_{aller}} = 0,054 tr.s^{-1} = \mathbf{3,2 tr.min^{-1}}$$

Donc pour la vitesse de rotation du moteur 2 :

$$\mathbf{0,0084 tr.min^{-1} \leq \omega_{moteur2} \leq 3,2 tr.min^{-1}}$$

Le moteur 2 choisi est un moteur à courant continu de référence RS PRO 417-9649 sur le site internet RS Pro. On a choisi ce moteur car la vitesse maximale dont on a besoin est de $3,2 \text{ tr/min}$, étant donné qu'il n'y aura que des efforts relativement faibles, ce moteur de 4 tr/min est amplement suffisant pour faire tourner la roue qui entraînera la bielle et ainsi la translation de la pièce guidant le fil en rotation.

c. Roulement lié au guidage du fil

Le rail sur lequel translate ce roulement a un diamètre de $d = 4 \text{ mm}$, de cette manière le roulement choisi, sur le site *123Roulement*, est référencé **605 – 2RS – RW**, avec un diamètre extérieur de $d = 19 \text{ mm}$ et une épaisseur de $e = 7,9 \text{ mm}$.

IV) Conclusion :

1) Estimation finale du coût et cahier des charges

Element	Quantité	Coût (€)	Référence	Contraintes
Visserie				
vis H	12	20		M6x30
vis H	3	5		M6x60
vis CHC	2	2		M6x32
vis CHC	2	2		M4x24
vis H	4	6		M6x20
vis H	4	6		M6x20
écrou à collerettes	3	6	4377000601	M6
écrou hexagonal	2	8	4325004501	M45
Circlips	2	3		
Roulement				
roulement à billes	2	6	6009-2RS-CS-ZEN	
roulement à billes	2	8		dext=20mm
roulement à roulette	1	10	605-2RS-RW	
Matériau				
Plaque de bois	7	30		
Arbre en acier	1	15		d=45mm et l=246mm
Axe en aluminium	1	4		l=150mm
Support en aluminium	1	5		
plateau en aluminium	2	20		
pièce plastique coupage	1	4		
support lame en aluminium	1	5		
rail en acier	1	10		l=80mm
Rondelles				
rondelle acier	4	2	ISO 7085	M5
Elements variés				
Ressorts	4	10	C0300512250M	d=7,62mm
Entretoises	2	10		l=40mm
Équerres	3	3		l=20mm
Accouplement roue/moteur	1	7		
Moteur CC	1	160	RS 773_6784	v=100trs/min
Moteur CC	1	34	RS PRO 417-9649	v=4trs/min
contrôleur de moteur	2	31	RS 417-9728	6 à 15V
Total		432		

Le coût des composants nécessaires à la réalisation de notre outil s'élève à 432€. Ainsi le budget de 750€ a été respecté tout en répondant au cahier des charges et l'argent restant pourrait donner lieu à des améliorations de la machine notamment pour la création d'un carter pour être déplacé dans tous les milieux.

2) Enrichissement personnel

Le projet de conception de bobineuse fut une expérience enrichissante pour l'ensemble du groupe car il a permis de développer nos compétences à divers niveaux. En effet en travaillant à huit nous avons pu nous confronter à des avis divergents mais également aux qualités de chacun. Il a été important de tous s'écouter et de travailler de manière dynamique pour que personne ne se sente à l'écart.

La répartition du travail a été importante car la construction d'un tel projet nécessite beaucoup de travail et chacun a dû se concentrer sur sa tâche.

3) Enrichissement technique

La bobineuse est le premier projet de recherche industrielle dans le cadre de nos études à l'ECAM. Il nous a permis de découvrir les problématiques quotidiennes d'un ingénieur. En effet lors de la conception d'un outil industriel, un ingénieur se doit de prendre beaucoup de paramètres en compte. Il est important d'associer la production à la sécurité et à la simplicité d'utilisation tout en minimisant les coûts et l'empreinte écologique. La théorie que nous avons pu acquérir lors de nos deux années précédant l'ECAM 3 nous a permis de mettre en application les notions et les adapter aux besoins de production et aux contraintes de travail.

Les principales contraintes rencontrées durant ce projet ont été le temps et le budget qui nous ont été imposés. Le travail au sein du groupe a pu poser un problème également au niveau de la motivation de chacun au cours des séances ou le manque de communication entre les groupes.

V) Annexes

(F _a)/C ₀	0,014	0,028	0,056	0,084	0,11	0,17	0,283	0,42	0,5
X	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Y	2,3	1,99	1,71	1,55	1,45	1,31	1,15	1,04	1
e	0,19	0,22	0,26	0,28	0,3	0,34	0,38	0,42	0,44

$P = F_r$ si $F_a/F_r \leq e$
 $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$ si $F_a/F_r > e$

Roulements à une rangée de billes et à contact radial

exécution normale

dimensions principales		vitesse limite tr/min	série de base	épaulements en mm		charges de base		exécutions particulières usuelles				rainure et segment d'arrêt		
d	D			r _{max}	DL mini	C daN	C ₀ daN	d'un côté	des 2 côtés	d'un côté	des 2 côtés	O _s	e _s	L
3	8	310	10	5,1	7,9	50	20	*	*	*	*			
3	10	410	2	5,1	7,9	70	25	*	*	*	*			
4	13	510	2	6,5	12,5	190	70	*	*	*	*			
4	15	610	2	7,1	13,9	190	75	*	*	*	*			
5	18	810	3	8,1	15,9	245	105	*	*	*	*			
5	19	910	3	9,2	16,9	245	105	*	*	*	*			
6	22	1110	2	10,5	19,6	330	135	*	*	*	*			
6	24	1210	2	10,8	19,3	330	135	*	*	*	*			
7	28	1410	3	11,5	21,9	365	165	*	*	*	*			
7	30	1510	3	13,1	21,9	460	195	*	*	*	*			
8	36	1810	2	12,8	23,6	460	195	*	*	*	*	34,7	1,02	3,18
8	38	1910	2	14,6	25,8	600	255	*	*	*	*	39,7	1,02	3,18
9	42	2110	3	15,6	28,2	810	345	*	*	*	*			
10	48	2510	2	16,5	27,9	690	310	*	*	*	*	36,7	1,02	3,18
10	50	2610	2	18,1	31,3	970	420	*	*	*	*	41,3	1,02	3,18
11	56	3010	3	18,3	29,1	660	285	*	*	*	*	36,7	1,02	3,18
12	62	3410	2	19,6	31	770	375	*	*	*	*	39,7	1,02	3,18
12	65	3610	2	21,2	35,1	1130	540	*	*	*	*	46,3	1,02	3,18
13	72	4010	3	22,4	35	960	415	*	*	*	*	39,7	1,02	3,18
14	80	4510	2	24,5	40,3	1350	660	*	*	*	*	52,7	1,02	3,58
15	90	5010	3	30,3	48,7	2270	1080	*	*	*	*	67,7	1,6	4,98
16	100	5610	4	25,1	37,1	940	500	*	*	*	*	46,3	1,02	3,18
17	110	6210	2	26,2	41,1	1280	660	*	*	*	*	52,7	1,02	3,58
18	120	6810	3	27,9	44,5	1590	790	*	*	*	*	57,9	1,02	3,58
19	130	7410	4	37,4	69,6	2950	1550	*	*	*	*	78,6	1,6	4,98
20	140	8010	2	30,1	42,1	1010	590	*	*	*	*	52,7	1,02	3,18
22	160	9210	3	31,4	46,3	1460	780	*	*	*	*	67,7	1,02	3,58
24	180	10410	4	34,9	53,1	2370	1220	*	*	*	*	67,7	1,6	4,98

25	80	212,5	8000	4	42,1	65,3	3500	1930	*	*	*	*	99,6	1,6	4,98
26	85	226,2	10000	10	35,8	48,8	1200	820	*	*	*	*	50,7	1,02	3,18
27	90	240	12000	2	38	54,6	1950	1130	*	*	*	*	67,7	1,6	4,98
28	95	253,8	15000	2	41,7	62,3	2800	1580	*	*	*	*	78,6	1,6	4,98
30	100	270	18000	3	41,7	74	4350	2350	*	*	*	*	99,6	2,36	5,74
32	110	297,5	22000	4	41,7	74	4350	2350	*	*	*	*	99,6	2,36	5,74
34	120	325	27000	10	41,7	85,2	11600	1030	*	*	*	*	67,7	1,6	4,98
36	130	352,5	33000	2	43,8	63,7	2550	1530	*	*	*	*	78,6	1,6	4,98
38	140	380	40000	3	46,4	68,4	3350	1910	*	*	*	*	86,6	1,6	4,98
40	150	407,5	48000	4	43,8	61,9	5500	3100	*	*	*	*	106,5	2,36	5,74
42	160	435	57000	10	46,5	61,9	1740	1150	*	*	*	*	74,6	1,6	4,19
44	170	462,5	67000	2	49,8	70,7	2900	1790	*	*	*	*	86,6	1,6	4,98
46	180	490	79000	3	52,9	77,6	4050	2390	*	*	*	*	96,5	2,36	5,74
48	190	517,5	93000	4	53,6	80,4	5400	3650	*	*	*	*	116,6	2,36	5,74
50	200	545	108000	10	52,3	88,1	2100	1820	*	*	*	*	81,6	1,6	4,19
52	210	572,5	125000	2	54,4	76,6	3250	2050	*	*	*	*	91,6	1,60	4,99
54	220	600	144000	3	59,2	85,7	5300	3150	*	*	*	*	105,5	2,36	5,74
56	230	627,5	165000	4	66,2	99,8	7700	4500	*	*	*	*	129,7	2,72	6,88
58	240	655	188000	10	57,3	73,1	2180	1660	*	*	*	*	86,6	1,6	4,19
60	250	682,5	213000	2	59,4	81,1	3500	2320	*	*	*	*	96,5	2,36	5,74
62	260	710	240000	3	65,8	95,1	6200	3500	*	*	*	*	115,6	2,36	5,74
64	270	737,5	270000	4	72,2	107,8	9200	5400	*	*	*	*	139,7	2,72	6,88
66	280	765	300000	10	63,3	82,6	2850	2130	*	*	*	*	96,5	2,36	5,33
68	290	792,5	330000	2	65,9	89,6	4350	2900	*	*	*	*	106,5	2,36	5,74
70	300	820	360000	3	72,1	103,4	7200	4500	*	*	*	*	129,7	2,72	6,88
72	310	847,5	400000	4	76,9	118,1	10000	6200	*	*	*	*	149,7	2,72	7,72
74	320	875	450000	10	68,3	87,5	2950	2320	*	*	*	*	101,6	2,36	5,33
76	330	902,5	500000	2	70,9	96,7	5200	3600	*	*	*	*	116,6	2,36	5,74
78	340	930	560000	3	78,7	111,8	8200	5200	*	*	*	*	139,7	2,72	6,88
80	350	957,5	630000	4	84	126,5	10900	7000	*	*	*	*	159,7	2,72	7,72
82	360	985	710000	10	73,3	92,5	3050	2500	*	*	*	*	106,5	2,36	5,33
84	370	1012,5	800000	2	78,1	106,7	5700	4000	*	*	*	*	129,7	2,72	6,88
86	380	1040	900000	3	85,2	120,3	9300	6000	*	*	*	*	149,7	2,72	7,72
88	390	1067,5	1000000	4	90	134	11800	7800	*	*	*	*	169,7	2,72	7,72
90	400	1095	1100000	10	79,8	101	3600	2850	*	*	*	*	116,6	2,36	5,33
92	410	1122,5	1200000	2	84	111,8	6200	4400	*	*	*	*	134,7	2,72	6,88
94	420	1150	1300000	3	91,8	128,7	10400	6800	*	*	*	*	159,7	2,72	7,72
96	430	1177,5	1400000	4	99,7	150,3	14400	10300	*	*	*	*	192,9	3	8,79
98	440	1205	1500000	10	84,8	106	3950	3350	*	*	*	*	121,6	2,36	5,33
100	450	1232,5	1600000	2	87,4	117,2	6600	4950	*	*	*	*	139,7	2,72	6,88
102	460	1260	1700000	3	96,3	137,2	11300	7700	*	*	*	*	169,7	2,72	7,72
104	470	1287,5	1800000	4	107,2	157,7	15300	11400	*	*	*	*	202,9	3	8,79
106	480	1315	1900000	10	91,4	114,4	4750	3950	*	*	*	*	134,7	2,72	6,88
108	490	1342,5	2000000	2	95,6	128,2	7300	5300	*	*	*	*	149,7	2,72	7,72
110	500	1370	2100000	3	104,9	145,6	12300	8600	*	*	*	*	182,8	3	8,79
112	510	1397,5	2200000	4	117	167	16300	12500	*	*	*	*	212,9	3	8,79
114	520	1425	2300000	10	96,4	119,4	4950	4300	*	*	*	*	138,7	2,72	6,88
116	530	1452,5	2400000	2	102,6	137,9	8300	6400	*	*	*	*	159,7	2,72	7,72
118	540	1480	2500000	3	111,4	154,1	13300	9700	*	*	*	*	192,9	3	8,79
120	550	1507,5	2600000	4	122,9	177,9	18400	13400	*	*	*	*	225,9	3	8,79
122	560	1535	2700000	10	102,9	127,9	5800	4950	*	*	*	*	149,7	2,72	6,88
124	570	1562,5	2800000	2	107,1	142,9	8600	7100	*	*	*	*	169,7	2,72	7,72
126	580	1590	2900000	3	117,8	163	14300	10700	*	*	*	*	202,9	3	8,79
128	590	1617,5	3000000	4	129,9	187,9	19300	14300	*	*	*	*	235,9	3	8,79

Figure 12 et 13 : table de dimensionnement des roulements