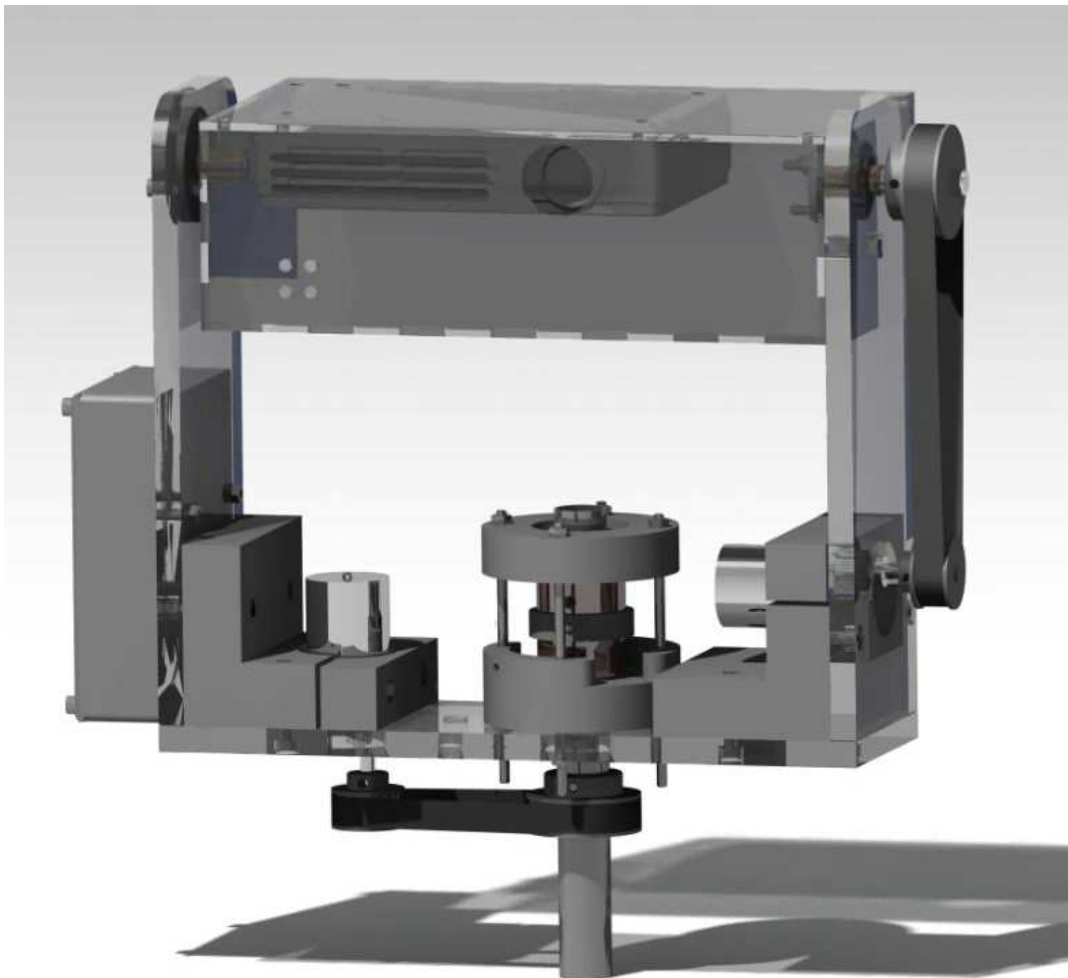


# Dossier projet CSM2

## La Lyre



Antoine LEMPEREUR - Timothée OOGHE - Maher BENCHERIF  
Vincent DEMARQUET - Alexis TURBEN - Quentin LARUE

## Sommaire

Introduction.....	2
I) Lyre 1.....	3
1) Enjeux de Lyre n°1.....	3
2) Conception de la lyre n°1.....	3
3) Fabrication de la lyre n°1.....	8
a) Choix des matériaux.....	8
b) Réalisation au fabricarium.....	8
c) Problèmes rencontrés et solutions trouvées.....	9
II) Lyre 2.....	11
1) Enjeux de la Lyre n°2.....	11
2) Conception de la lyre n°2.....	11
a) Evolution de chacunes des solutions.....	11
b) Choix des matériaux.....	12
3) Fabrication de Lyre n°2.....	12
a) Mise en plan.....	13
b) FAO et usinage.....	13
III) Comparaisons et analyses.....	15
1) Comparaisons avec le cahier des charges.....	15
2) Comparaisons lyre n°1/Lyre n°2.....	16
3) Intérêts de chacunes des deux Lyres.....	17
Conclusion.....	18
Annexe.....	19

## Introduction.

Dans le cadre de notre formation ingénieur dans la filière conception mécanique à Polytech'Lille, nous avons travaillé en groupe de 6 personnes sur un projet s'incluant dans la matière "Conception des systèmes" . Il est destiné à évaluer principalement nos compétences en conception, dimensionnement ainsi que maîtriser différentes techniques qui nous seront utiles dans notre futur métier d'ingénieur, cela nous permet aussi de tester notre esprit d'équipe. Ce projet figurait parmi une liste d'autres projets proposée par nos professeurs. Notre groupe a donc choisi de travailler sur le projet "Lyre" car c'est le sujet de la liste qui nous intéressait le plus. La lyre est un système permettant d'embarquer un projecteur afin de pouvoir le faire pivoter selon deux directions. C'est un système utilisé en grande partie pour des projets artistiques reposant sur la multidiffusion et le déplacement de vidéo dans un espace pouvant créer ainsi des jeux d'images et de lumière. Notre travail est donc de faire l'étude de fabrication et le prototypage d'une lyre de petite taille, motorisée sur 2 axes X,Y permettant le positionnement d'une image vidéo diffusée depuis un pico-vidéoprojecteur. L'objectif fixé est de concevoir un système pour de multiples usages aussi bien intérieur qu'extérieur, peu cher et surtout accessible à toutes personnes voulant réaliser sa propre lyre dans un Fab-lab, le projet étant de publier les plans, les matériaux utilisés, les fournisseurs ainsi que la notice de montage en open source. Il faut donc concevoir un premier système pouvant être réalisé exclusivement dans un Fablab ou un Tech-shop sans utiliser aucune machine industrielle. Aussi, un deuxième objectif de notre projet est de sortir cette fois de l'aspect Fab-lab et aborder le système d'une façon beaucoup plus industrielle en ayant cette fois la possibilité d'utiliser pour la réalisation et l'usinage des pièces, les machines que l'on peut rencontrer dans l'industrie. Ainsi les techniques pour réaliser les deux lyres auront chacune leurs spécificités et dans ce dossier nous détaillerons la réalisation de chacune des lyres de la conception jusqu'à la réalisation pratique.

## **1) Lyre 1.0**

### **1) Enjeux de la Lyre 1.0**

La lyre 1.0 a pour enjeux de respecter le cahier des charges fonctionnelles tout en restant un projet Open Source et en suivant la ligne principale du projet : minimiser les coûts à toutes les étapes. Cette lyre 1.0 doit être fabricable dans un fabricarium. En l'occurrence, nous disposons uniquement pour cette étape de la découpe laser, de l'imprimante 3D, et des outils de base d'un Fablab.

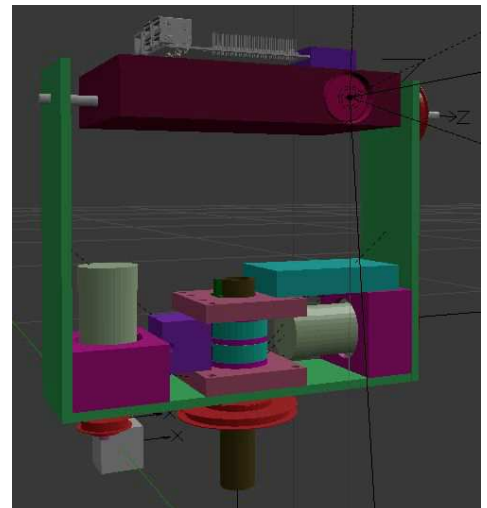
### **2) Conception de la Lyre 1.0**

Au début du projet, le client nous a fourni une maquette Blender pour nous montrer grossièrement le type de produit qu'il attendais.

A l'aide de celui-ci nous avons donc pu commencer la conception de notre lyre en ayant pour exemple la maquette Blender.

Ce que le client attendait, est un système avec deux moteurs qui entraînent deux poulies-courroies, une pour la rotation globale du bâti et une autre pour la rotation selon l'axe z du projecteur. Il voulait aussi un système en forme de "U" qu'il jugeait comme la meilleure option.

Pour que tous les éléments électriques tel que le moteur, le picoprojecteur et les cartes de commandes soient isolés nous avons dû créer des boîtes pour qu'ils ne prennent pas l'eau.



### **Ensemble bâti**

Pour la conception du bâti, nous avons choisi de reprendre la structure en "U", car elle représentait la meilleure solution pour avoir un système rigide et une liaison pivot du picoprojecteur suffisamment simple pour être réalisé en FabLab.

Pour ce bâti, peu d'options s'offraient à nous, car nous étions limité par le mode de conception FabLab. Nous avons donc choisi de réaliser ce bâti à l'aide de 3 plaques de plexiglas d'épaisseur 10 mm qui seront découpées à la découpeuse laser. Grâce à cela, il n'y a pas de flexion sur les plaques latérales du bâti causée par le poids de la boîte et du picoprojecteur, une bonne rigidité du système globale ainsi qu'un bâti qui n'est pas dommageable par l'eau. Il était possible d'utiliser du bois à la place du plexiglas pour réduire considérablement les coûts mais notre client souhaite l'utiliser pour des projections en plein

# Lyre

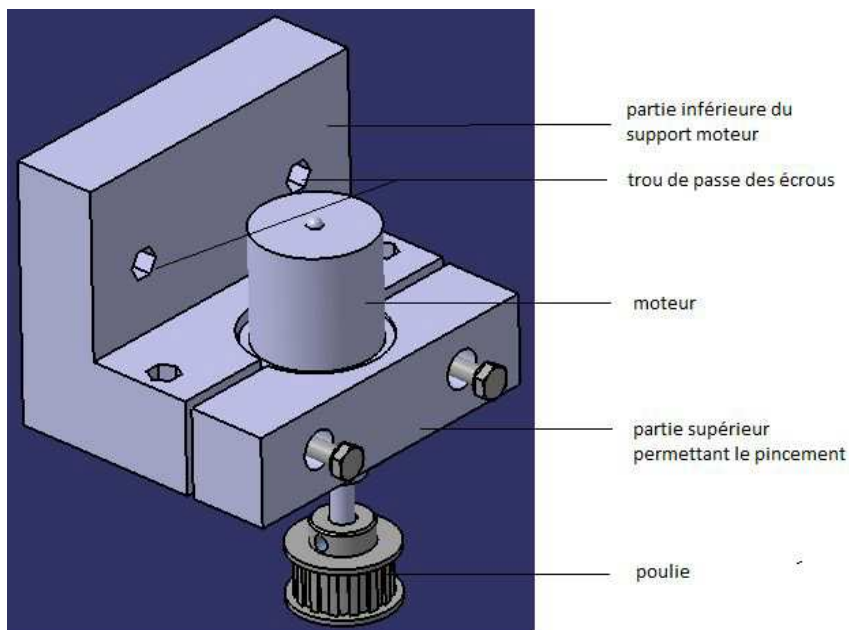
---

air. Il était donc impossible de prendre ce matériau car, si il pleut pendant l'utilisation, le bâti ne résisterait pas.

Pour la mise en position et le maintien de ces plaques entre elles, nous avons choisi d'utiliser le support moteur.

En effet, ce support a plusieurs fonctions :

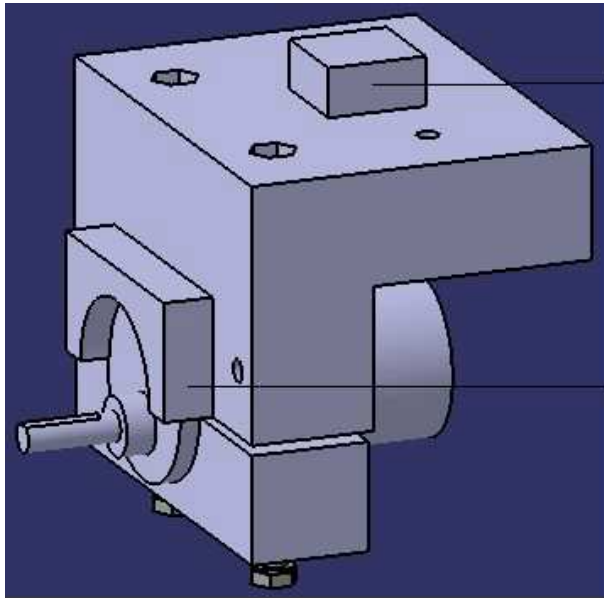
- maintien et positionnement du moteur
- possibilité du réglage angulaire du moteur pour tendre ou détendre la courroie
- maintien et positionnement des plaques du bâti



Pour cela nous avons conçu une pièce bloquant le moteur par pincement à l'aide de deux vis.

Lorsque nous avons besoin de tendre ou détendre la courroie, il suffit de dévisser les vis du pincement et de tourner le moteur à la main.

Grâce aux extrusions carrées nous pouvons positionner précisément les plaques entre elles et permettre une coaxialité suffisante pour les pivots du picoprojecteur.

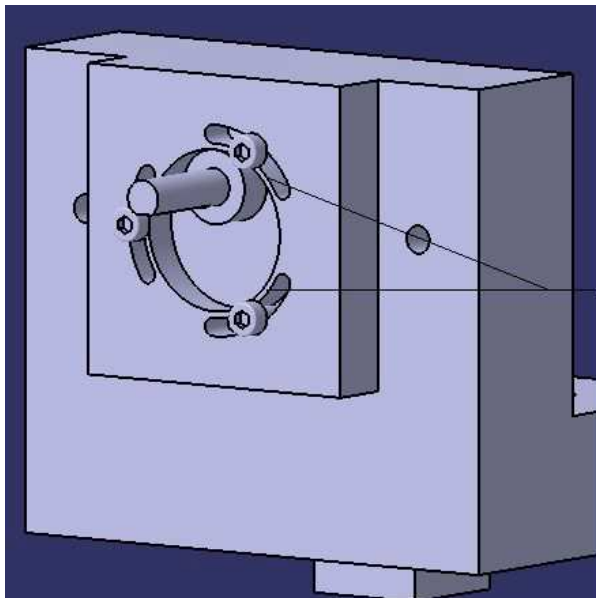


extrusion permettant la mise en position des plaques en plexiglass par rapport au support moteur (mise en position carrée dans carrée)

Nous avons décidé de faire cette pièce à l'imprimante 3D car c'est le procédé le moins coûteux et qui permet de faire des pièces de toutes formes. De plus, cette pièce maintient seulement une des plaques latérale et ne reçoit pas beaucoup d'effort.

Pour simplifier encore plus le système, nous avons décidé d'utiliser la même pièce pour les moteurs.

Avant d'aboutir à cette solution finale de support moteur, nous avons fait une pièce qui tenait le moteur directement dans la pièce avec des vis car le moteur a des trous taraudés.



L'espace entre le trou de passage des vis et celui de l'arbre moteur est trop faible.

Lorsque nous avons imprimé et que nous avons essayé de visser le moteur le PLA a cassé, nous avons donc trouvé l'autre solution

## Boitier

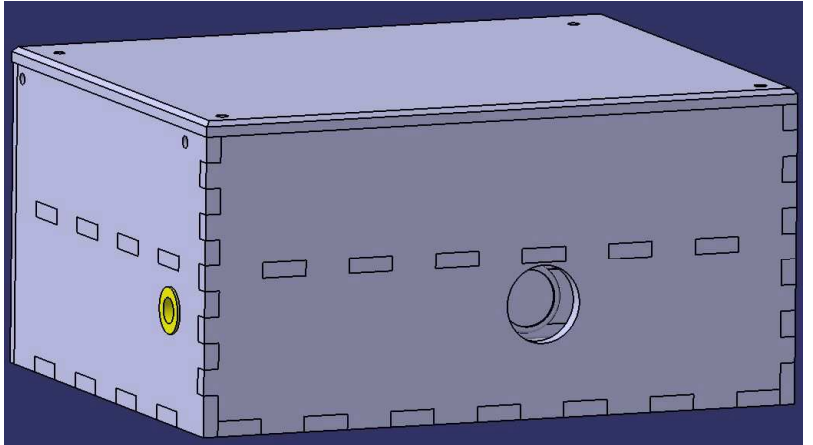
Le boitier permet d'étanchéifier le picoprojecteur et les cartes de commande ainsi que permettre la liaison pivot entre le bâti et le pico-projecteur.

Pour sa conception nous avons fait deux modèles :

Le premier modèle est une boîte que nous avons conçu en ayant peu d'informations sur ce que voulait le client, nous avons ainsi créé cette boîte beaucoup trop grosse.

Pour celle dernière nous avons décidé de la faire en 2 étages, un pour le projecteur et un autre pour les cartes. Nous avons aussi laissé beaucoup de place pour le câblage alors que ce n'était pas nécessaire.

Pour sa réalisation nous avons choisi de la faire en plexiglas d'épaisseur 6mm et à l'aide de la découpeuse laser.

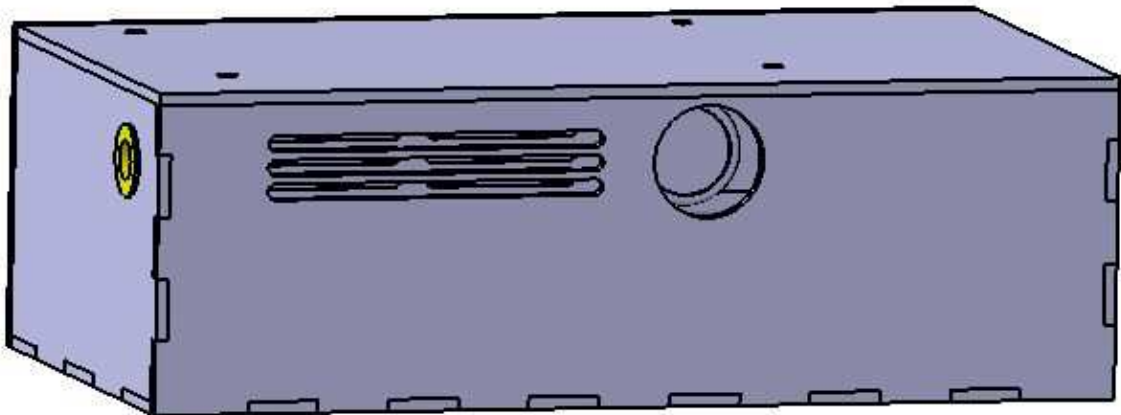


C'est au moment où nous avons monté la boîte que nous nous sommes rendus compte qu'elle était beaucoup trop grosse et qu'il fallait la modifier.

Nous avons rencontré le client et il nous a donné les dimensions qui lui plairait avec le placement des cartes dans la boîte.

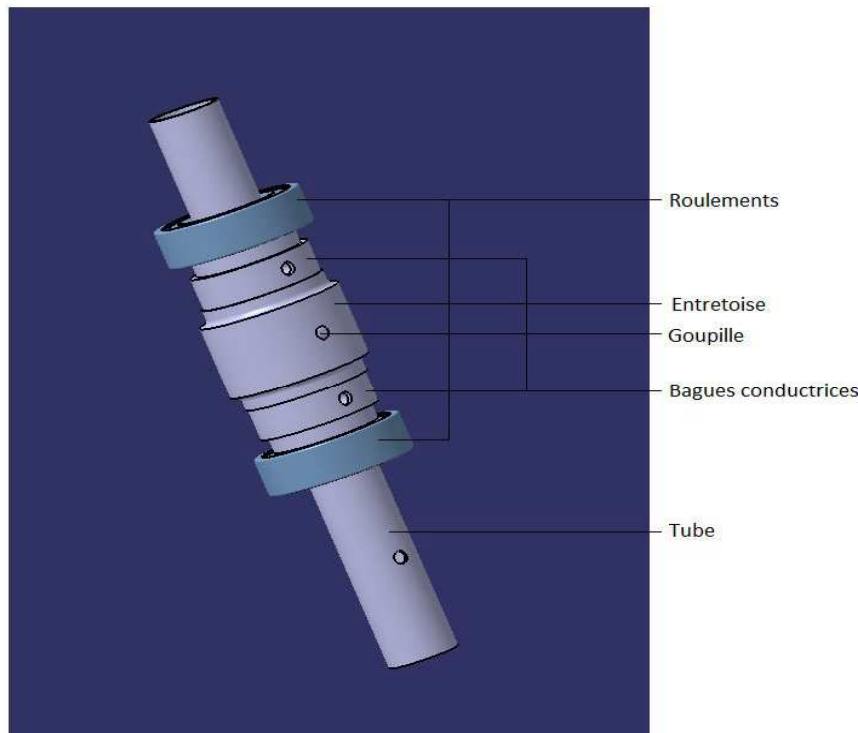
Nous avons donc conçu un deuxième modèle, une boîte beaucoup plus petite à 1 étage avec une épaisseur plexiglas de 3mm. Le système est le même que pour la première boîte avec des plaques de plexiglas qui s'emboîtent les unes dans les autres et que l'on vient rendre solidaire avec de l'acétone afin de les coller entre elles. Le poids de la boîte est donc, dans le même cas, réduit de moitié.

Pour pouvoir placer le projecteur et les cartes nous avons laissé une plaque en guise de couvercle que l'on vient visser.



## Pivot centrale.

La pivot centrale a pour base un arbre de diamètre 20mm, creux, en acier, d'une longueur d'au moins une quarantaine de centimètres. Cet ensemble doit permettre la rotation selon l'axe vertical de la lyre, mais il doit également supporter l'ensemble de la masse du système, peu importe son orientation (lyre à l'endroit, à l'envers, inclinée). La masse à supporter a été largement estimée à 10 kg, afin de pouvoir dimensionner la liaison avec une marge assez importante.



Dans un premier temps, la liaison pivot a été réalisé avec deux roulements à bille 6004-2Z, montés avec la bague intérieure serrée, les efforts étant orientés vers cette dernière. Leur écartement a été estimé à environ 50 mm. Cet écart est assuré grâce à une entretoise, imprimée en PLA, que l'on vient goupiller. L'entretoise est montée serrée à cause de la surépaisseur due à l'impression 3D, nous n'avons toutefois pas pris le risque de la laisser ainsi, d'où la goupille. Cette entretoise est épaulée au milieu autour de la goupille, dans un premier temps pour consolider l'ensemble, mais également pour venir mettre en position des bagues de cuivre montées serrées, qui serviront à réaliser un collecteur tournant. On vient percer, une fois l'ensemble mis en position, à travers chaque bague de cuivre jusqu'à l'intérieur du tube, afin de permettre aux câbles de rejoindre la bague conductrice. Ces derniers seront alors fixés

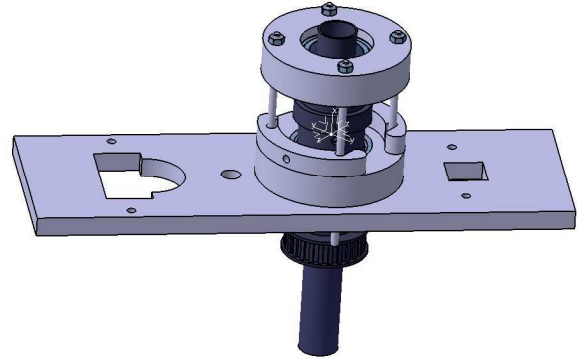


# Lyre

---

sur la bague pour permettre la conduction du courant. On met deux collecteurs, dans la mesure où la lyre fonctionne avec deux courants d'une tension différente : un à 6V et un à 12V.

Afin de refermer l'ensemble, on pose une sorte de cage qui contient l'ensemble. Cette dernière se compose aux extrémités d'un corps pivot imprimé en PLA sur lesquels vont se poser les bagues extérieures. Sur ces pièces, on vient poser une nouvelle impression 3D, qui comporte l'emplacement des charbons ainsi qu'un trou débouchant à l'arrière pour y faire passer les câbles. On vient refermer l'ensemble avec 4 tiges filetées, qui traversent les deux corps pivot et les caissons de collecteur, mais également la plaque inférieure du bâti, ensemble sur lequel on vient assembler des écrous, quatre sur les caissons inférieurs, quatre sur les caissons supérieurs, afin de les pincer entre les corps de pivot et les écrous. Ces tiges assurent le lien entre le bâti et le tube de la pivot et participent à supporter l'ensemble. On vient enfin placer les charbons dans les caissons, qui sont réglables, grâce à la forme des trous sur les supports de caissons. Pour finir, on insère l'ensemble du câblage, à travers le tube jusqu'aux collecteurs, et en sortie des caissons et des charbons.



## Boîtier latéral

Afin de stocker le raspberry qui a un volume non négligeable, et qui doit être protégé en terme d'étanchéité, On crée un boîtier en impression 3D, refermé via des écrous fixés dedans et des vis qui solidarisent l'ensemble. Dans une optique de gain de place toutefois, on fixe ce dernier sur la plaque latérale du bâti avec deux vis.

### 3) Fabrication de la Lyre 1.0

#### a) Choix des matériaux

Pour choisir le matériau principal de notre système, notamment du bâti, il fallait bien évidemment tenir compte des exigences du cahier des charges. Nous avons donc fait un tableau de choix pour le matériau dans lequel figurent les contraintes suivantes :

- résister aux intempéries
- ne pas être trop cher
- supporter la découpe laser
- qu'on puisse percer le matériau

Nous avons répertorié la liste de tous les matériaux respectant le critère de la découpe laser et nous avons vu quels étaient les matériaux respectant au mieux les autres critères.

Ainsi deux matériaux respectaient tous les précédents critères :

- Le plexiglas

# Lyre

---

- Le contreplaqué

Mais à la demande du client et pour une question d'esthétisme nous avons gardé le plexiglas comme matériau définitif

## b) Réalisation au Fabricarium

Avec les restrictions que nous avons, nous avons donc décidé de fabriquer la plupart de nos pièces à l'impression 3D. C'est un moyen long mais peu cher et très pratique. Vous pourrez donc trouver ci-dessous les pièces réalisées à l'imprimante 3D:

Pièce	Quantité	Durée unitaire (heure)	Prix €
Corps pivot	2	2	4,00 €
Dessus boîtier fraise	1	1	1,00 €
Fond boîtier fraise	1	1	1,00 €
Support moteur	2	10	20,00 €
Support encastrement	2	2	4,00 €
pièces assemblage	6	0,25	1,50 €
Prix total			31,50 €

En ce qui concerne le support en U et la boîte du pico-projecteur, nous avons décidé de prendre du Plexiglas afin de garantir une bonne durée de vie en extérieur de notre système. Epaisseur 10 pour le U afin de garantir une bonne rigidité globale, et épaisseur 6 mm pour la boîte initiale: dimension que nous avons revu à la baisse (3 mm) pour avoir plus de légèreté. Nous avons donc créé les fichiers SVG afin de découper les plaques à la découpe laser. Le coût de fabrication du Plexiglas est décrit ci-dessous:

Élément	Quantité	Longueur(m)	Surface(m <sup>2</sup> )
Plexiglas ep 6	-	-	0,164
Plexiglas ep 10	-	-	0,056

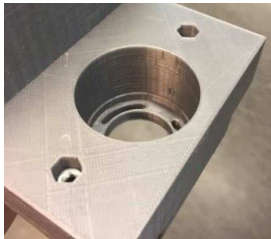
Enfin, nous avons complété toutes ces pièces par des composants standards que nous avons listé afin d'obtenir un prix global de la Lyre 1.0:

# Lyre

Elément	Quantité	Longueur(m)	Surface(m <sup>2</sup> )
Roulement 6004-2RS	2	-	-
Coussinet IGUS JFM-1012-05	2	-	-
Tige filetée M4	4	0,125	-
Poulie 27T5-15/ECO	2	-	-
Poulie 15T5-15	2	-	-
CHC M4x25	8	-	-
Vis Pico ref ?	-	-	-
CHC M4x20	20	-	-
CHC M3x8	6	-	-
Goupille élastique ISO 8752-4x30	2	-	-
Ecrou H M4	36	-	-
Vis sans tête à 6 pans creux à b	2	-	-
Tube D20 ep 1,5	1	0,18	-
Courroie T5/280/6	1	-	-
Courroie T5/365/6	1	-	-
Charbon Bosch 0149 x2	2	-	-

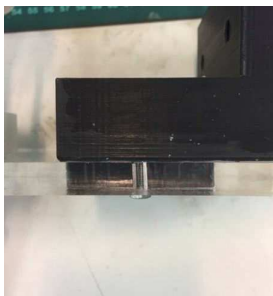
Vous pourrez trouver en annexe la **notice de montage complète** de la Lyre 1 ainsi que tous les fichiers SVG (découpe laser) et STL (impression 3D).

### c) Problèmes rencontrés et solutions trouvées.



Le problème majeur a été de comprendre l'erreur de l'imprimante 3D. En effet, celle-ci effectue une sur-couche de quelques dixièmes de millimètre sur les faces extérieures. Il a donc été important de faire des tests pour obtenir une idée de l'erreur. Sur l'imprimante du Fabricarium (Witbox), nous avons remarqué une sur-couche de 0.2 mm sur chaque dimension extérieure. Ainsi, nous avons corrigé cela afin que les surfaces fonctionnelles correspondent aux valeurs

attendues (A noter que les fichiers STL comprennent la correction des sur-couches).



Un autre problème a été présent sur la découpe laser mais uniquement sur les découpes de plaque de 10 mm. On constate une déviation du faisceau laser dans la plaque due à la forte épaisseur. On a modifié le diamètre initial afin d'arriver à la valeur voulue.

Cependant, ces deux problèmes restent propres au Fabricarium. Dans chaque Fablab, afin d'obtenir une Lyre qui fonctionne correctement, il sera nécessaire d'effectuer des tests dans ces deux cas car l'erreur d'impression et de découpe est propre à chaque machine. De plus, pour un ajustement parfait, il sera nécessaire d'ajuster les alésages et arbres avec du papier de

verre. Nous ne pouvons pas éviter cette étape d'ajustement dans la Lyre 1.0 à cause des imprécisions d'usinage, mais cela sera possible avec la Lyre 2.0.

## **II) Lyre 2.0**

### **1) Enjeux de la Lyre 2.0**

La Lyre 2.0 doit toujours respecter le principe d'une fabrication OpenSource, dans un milieu toutefois plus industriel, c'est à dire, faisable dans n'importe quel atelier Techshop par toute personne ayant les compétences nécessaires pour utiliser les machines outils présentes dans un tel environnement. De plus, l'emploi des machines d'usinages en atelier n'est pas un impératif. En effet, que cela soit pour des raisons de coût, où encore d'encombrement, il n'est pas forcément nécessaire d'employer des matériaux métalliques usinés, mais du plastique type PLA<sup>1</sup> ou ABS<sup>2</sup> via les imprimantes 3D par exemple.

Avec la Lyre 2.0 nous n'avons plus les contraintes de conception du à la fabrication de forme complexe, de taraudage/filetage, de pliage, ou encore de soudure. C'est pourquoi nous avons opté pour une reconception du système

### **2) Conception de la Lyre 2.0**

#### **a) Evolution de chacune des solutions**

- **Support principal** : Afin de libérer l'espace et la masse, nous faisons le choix de remplacer la forme du 'U' par une forme plus simple, un 'L', en acier. Il est nécessaire alors de réaliser une étude pour établir la résistance à la flexion de l'ensemble. Cette dernière nous a amené à plusieurs modifications, notamment concernant la masse de la boîte. Afin de rigidifier l'ensemble et faire en sorte que le pico ne dévie pas de son axe, on ajoute des renforts dans les angles. Certains perçages sont ajoutés afin de laisser passer les différents câbles, avec une marge dans la longueur de ces derniers afin de ne pas entraver le déplacement de chacun des ensembles.
- **Support moteur** : Le support moteur n'a pas subi de grand changement mis à part la manière de le fabriquer, nous avons opté pour un support moteur en aluminium pour sa légèreté et car il n'y a pas beaucoup d'efforts présents dans ce système. Le support moteur positionne toujours le moteur grâce un centrage court + appuie plan et un pincement pour bloquer la rotation du moteur, le support reste fixe grâce à la présence de taraudage débouchant et d'une vis traversant le bâti.
- **Pivot centrale** : La pivot centrale conserve sa forme globale. L'arbre principal possède une succession d'épaulements afin de mettre en position les différents

---

<sup>1</sup> Acide polylactique

<sup>2</sup> Acrylonitrile butadiène styrène

éléments de la pivot. Le corps de la pivot est fait en un seul bloc, nous évitons ainsi les éventuelles complications liées aux tiges filetées ainsi qu'aux précédents corps de pivot, et on obtient ainsi un aspect un peu plus solide. La méthode pour les collecteurs tournant reste la même, à l'exception des bagues conductrices qui sont posées sur des bagues isolantes, elles même posées sur un des épaulements de l'arbre. L'ensemble est enfermé dans le corps de la pivot, fixé au support via des vis reliant les deux ensembles.

- **Pivot supérieure** : Dans une optique de gain de précision, nous réalisons la pivot supérieure avec un guidage plus rigoureux, à savoir avec deux roulement de diamètre intérieur égal mais de diamètre extérieur différent, mais également un arbre usiné et un corps de pivot comparable à celui de la pivot centrale. Néanmoins afin d'assurer le bon fonctionnement du système, une étude de RDM a été sur l'arbre à l'aide de "RDM le mans", (voir annexe 1) la pivot supporte bien les efforts qui lui sont appliqués. Les bagues intérieures sont montées serrées et les arrêts axiaux se font à l'aide de circlips, entretoise et épaulement.
- **Boîtier** : Suite à l'étude menée lors de la dimensionnement du support principal, il est devenu nécessaire de réduire au maximum la masse de ce dernier, et de mettre en position précisément le centre de gravité de l'ensemble: au niveau de l'axe de la pivot supérieure, et le plus proche de cette dernière. La dimension, après un entretien avec l'intervenant, a été réduite de moitié. Cette évolution a été permise grâce à des précisions quant à l'encombrement du pico et des différents circuits. Certains trous ont été rajoutés afin de passer le câblage.

La plupart des évolutions ont été apportées après que notre intervenant nous ait apporté des précisions, essentiellement concernant les dimensions de la partie électronique. Ainsi la difficulté majeure était portée sur le gain de masse et d'espace. Concernant les matériaux, l'ensemble des pièces autrefois imprimées en 3D sont maintenant réalisées en aluminium avec usinage bien sur.

## *b) Choix des matériaux*

Concernant les matériaux, nous avons choisi de se diriger vers l'aluminium pour sa légèreté, sa facilité d'usinage, et pour les pièces ne subissant pas beaucoup d'efforts comme le support moteur, la pivot centrale, et la pivot supérieure (corps pivot). Ensuite, nous nous sommes orientés vers l'acier pour sa rigidité, en comparaison à l'aluminium, nous l'avons utilisé pour la fabrication du support principal formant un "L", et pour différents raidisseurs à partir d'une plaque d'acier d'épaisseur de 2 millimètre, ainsi que pour l'arbre de la pivot supérieure travaillant en flexion à cause du poids du boîtier et des divers composants. Enfin, nous avons décidé de garder le boîtier en plexiglas pour sa facilité de fabrication et d'assemblage, ainsi que son esthétique.

### 3) Fabrication

#### a) Mise en plan

Un certain nombre de pièces dans la lyre 2.0 nécessitent un usinage, il est donc nécessaire de mettre en plan ces pièces. Ainsi l'arbre de la pivot centrale, l'arbre de la pivot supérieure, la bague présente dans la pivot supérieure, le corps de la pivot centrale, le support principal et enfin le support moteur possèdent un plan de définition. Chaque surface ou éléments fonctionnels ont été identifiés afin de réaliser les plans en fonction de ces derniers.

Cette étape nous a permis d'identifier quelques problèmes concernant certaines dimensions, parfois imprécises dans leur localisation, ou parfois trop complexes dans leur réalisation.

#### b) FAO<sup>3</sup> et usinage

Chacune des pièces possédant un plan de définition est sujet à usinage, que cela soit via des machines pilotées manuellement ou via des programmes conçu grâce à l'atelier FAO de Catia.

- **Support principale (annexe 2)** : Le support principale est fabriqué à partir d'une plaque d'acier de 94x416mm et d'épaisseur deux millimètre, ensuite la plaque sera usinée en fraisage afin de créer des trous de passage des différentes vis ainsi que des alésages pour laisser passer les deux moteurs, la pivot centrale et la pivot supérieur. Une fois que les diverses opérations de fraisage seront effectuées, la plaque usinée sera pliée à une longueur donnée.
- **Support moteur (annexe 3)** : Le support moteur est fabriqué à partir d'un brut d'aluminium carré (60x60) scié à une longueur de 27 mm ( $\pm 1$  mm), le support moteur est uniquement usiné à l'aide d'une fraiseuse numérique, cela en trois phases afin de faciliter le pincement. Nous effectuons des opérations de pointage, perçage, surfaçage, taraudage ainsi qu'un contournage intérieur étagé.
- **Pivot centrale (annexe 4 & 5)** : Le corps de la pivot centrale est réalisé à partir d'un cylindre creux en aluminium de diamètre 56 mm de longueur  $\pm 167$  mm, celui ci est réalisé en tournage 3 axes en une seule phase si nous procédons à un tronçonnage (une des surface plane n'est pas fonctionnelle). Ainsi nous réalisons toutes les opérations nécessaires à l'obtention du produit final : chariotage, dressage, perçage axial (outil tournant), fraisage radial (outil tournant, pièce tournante à faible vitesse de rotation), tronçonnage. L'arbre de la pivot centrale est fabriqué à partir d'un cylindre

---

<sup>3</sup> Fabrication assistée par ordinateur

creux en acier de diamètre 30 mm de longueur , il est réalisé en deux phases avec les même outils que précédemment.

- **Pivot supérieure (annexe 6 & 7) :** Comme il a été dit précédemment, la pivot supérieure est divisé en deux parties, un corps pivot et un arbre. Le corps pivot est réalisé en tournage 2 axes en une seule phase avec tronçonnage à partir d'un cylindre creux en aluminium de diamètre 56 mm de longueur  $\pm$  41 mm. Les outils nécessaires à sa réalisation sont les suivants : Outil à aléser et dresser, outil à charioter, outil à gorge et un outil tournant pour percer. L'arbre de la pivot est fabriqué à partir d'un brut cylindre creux en acier de diamètre 32mm, cette arbre sera réalisé en deux phases dû à son épaulement, les outils utilisés sont les mêmes que pour le corps pivot.
- **Raidisseur :** Les raidisseurs sont réalisés à partir deux plaques d'acier d'épaisseur 2 mm, une de dimension 210x60mm et l'autre de 70x30mm. Ces deux plaques sont ensuite découpées dans leur diagonale afin d'obtenir 4 triangles rectangles au total. Ces derniers seront soudés sur le support principale afin de rigidifier la structure.

### III) Comparaisons et analyses

#### 1) Comparaison de la lyre terminée avec le cahier des charges fonctionnelles

Ce qui est respecté: Une des contraintes principale de notre projet ne se situe pas en elle même dans le système mécanique constituant la lyre mais plutôt dans le lieu dans lequel la lyre sera fabriquée et assemblée. En effet le but principal de notre projet est de permettre à un utilisateur quelconque, de fabriquer la lyre dans un Fab-lab (ou par extension un Tech-Shop).



Pour satisfaire ce principal critère nous avons donc réfléchi communément afin de trouver des solutions concernant, par exemple, la conception de liaisons qui doivent être assez précises du fait de l'utilisation de la lyre; c'est à dire qu'une liaison pivot doit fonctionner correctement, sans trop de frottements, sans trop de jeu, etc .Le détail des calculs est présenté dans les notes de calculs. Les matériaux utilisés doivent eux aussi être facilement trouvable ou que l'on peut commander facilement dans un Fab-lab et pouvant être découpés par une découpe laser. Nous sommes donc limités dans la taille des pièces car nous devons nous adapter aux machines disponibles. De plus les coûts engendrés doivent rester assez faibles afin de toucher un public plus important. Il restera à la charge de l'utilisateur, d'acheter toute la quincaillerie et les différentes pièces servants aux liaisons.

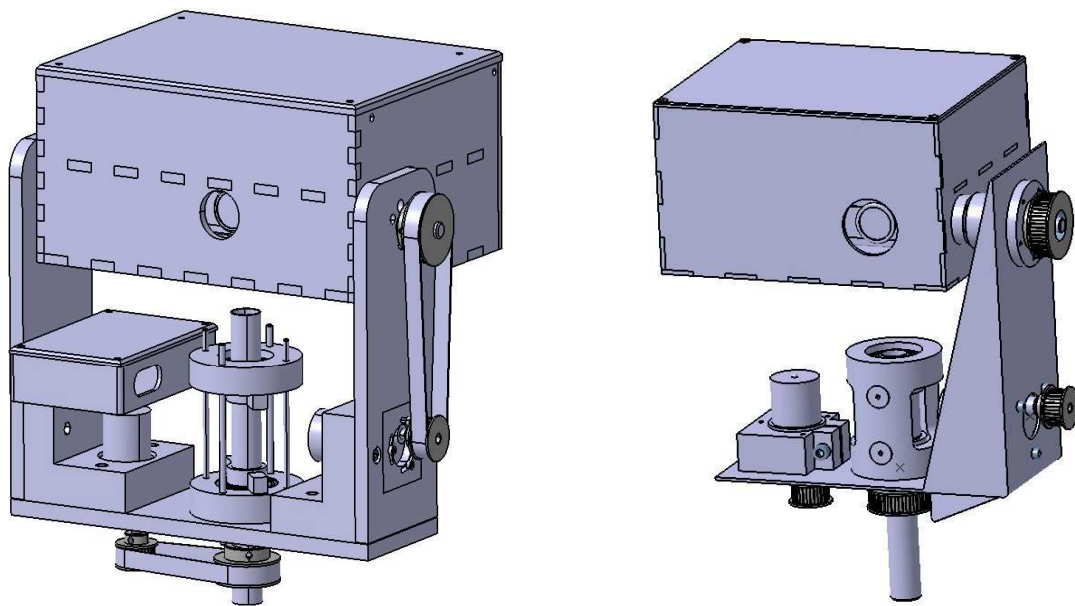
Le montage et le démontage doit lui aussi s'effectuer avec des outils standards. Il doivent s'effectuer assez rapidement et le plus facilement possible afin qu'une personne débutante puisse comprendre et réussir tout cela.

Ce qui n'est pas respecté: A l'heure actuelle nous n'avons pas réalisé un système étanche à 100% . En effet, la liaison pivot central (rotation verticale) n'est pas étanche du fait que l'on doit passer des câbles électriques à l'intérieur du tube. Néanmoins il sera possible d'ajouter



une tôle en aluminium sur toute la partie basse du U afin d'assurer l'étanchéité (solution validée par notre client).

## 2) Comparaison de la lyre 1&2



Les moyens à disposition pour réaliser chacune des lyres étant très différents, pour la première lyre, la contrainte était d'utiliser des moyens exclusivement au Fab-Lab ou Tech-shop alors que la deuxième Lyre était conçue pour un aspect purement industriel avec les techniques qui s'y rapportent.

Avec la deuxième Lyre, ayant fait le choix d'un bâti en L plutôt qu'en U, on réduit le nombre de liaisons mécaniques en supprimant notamment une des pivots, en liaison avec le boîtier. Ainsi on n'avait plus de problème de coaxialité au niveau des pivots du haut, alors qu'il fallait en tenir compte pour la réalisation de la première Lyre.

Une grosse différence entre les deux Lyres est notamment le temps pour réaliser chacun des systèmes. Pour la première Lyre, étant un système conçu dans un Fab-Lab, il faut prendre en compte le temps d'impression 3D qui est très long, compter plus de 10 heures pour certaines pièces comme les supports moteur. De plus, étant un modèle Fab-Lab, certains rattrapages peuvent être nécessaires, comme par exemple lisser, poncer certaines surfaces car chaque imprimante 3D aura plus ou moins sa précision et sa marge d'erreur. Puis ce temps de réalisation va aussi dépendre de la dextérité de l'utilisateur et est donc incertain. Ainsi, ce temps est nettement moins important pour réaliser la seconde Lyre. On

utilise des machines industrielles qui mettent un temps de fabrication extrêmement rapide si tous les programmes FAO sont bien faits au préalable.

Cependant le coût en sera affecté, aux vues des machines et des matériaux, le coût de la réalisation de la première Lyre sera inférieur à la deuxième.

Concernant, le poids du système on arrive à des estimations de 4,5 kg pour la première Lyre et on arrive à des estimations un peu à la baisse pour la seconde lyre. Cela est dû au volume gagné par rapport à la première lyre utilisée malgré un matériau plus lourd (aluminium & acier).

### 3) Intérêt des deux lyres

Pour la première lyre, elle est fabricable et assemblable par tout le monde et surtout elle est peu chère. Ceci est bien sûr primordiale lorsque l'on souhaite cibler, partager en open source, un public plus divers et varié.

Pour la seconde lyre, étant réalisable dans un atelier possédant une fraiseuse 4 axes, un tour 3 axes (au minimum), elle est plus chère du fait du coup machine et des matériaux utilisés et nécessite des connaissances techniques plus poussées qu'auparavant. En effet, la Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO) n'est pas accessible pour tous.

Cependant, elle est mécaniquement plus fiable, plus précise en dimensionnement et en conception. En effet, nous pouvons prendre l'exemple du calcul du centre de gravité du système. Il doit se trouver le plus précisément possible dans l'axe de la pivot centrale et dans l'axe de la focale du picoprojecteur. Des calculs nous ont permis de satisfaire pleinement cette contrainte. De plus, une version atelier pourrait permettre au client de produire en plus grande série et pourquoi pas envisager un coût plus faible à long terme.

## Conclusion

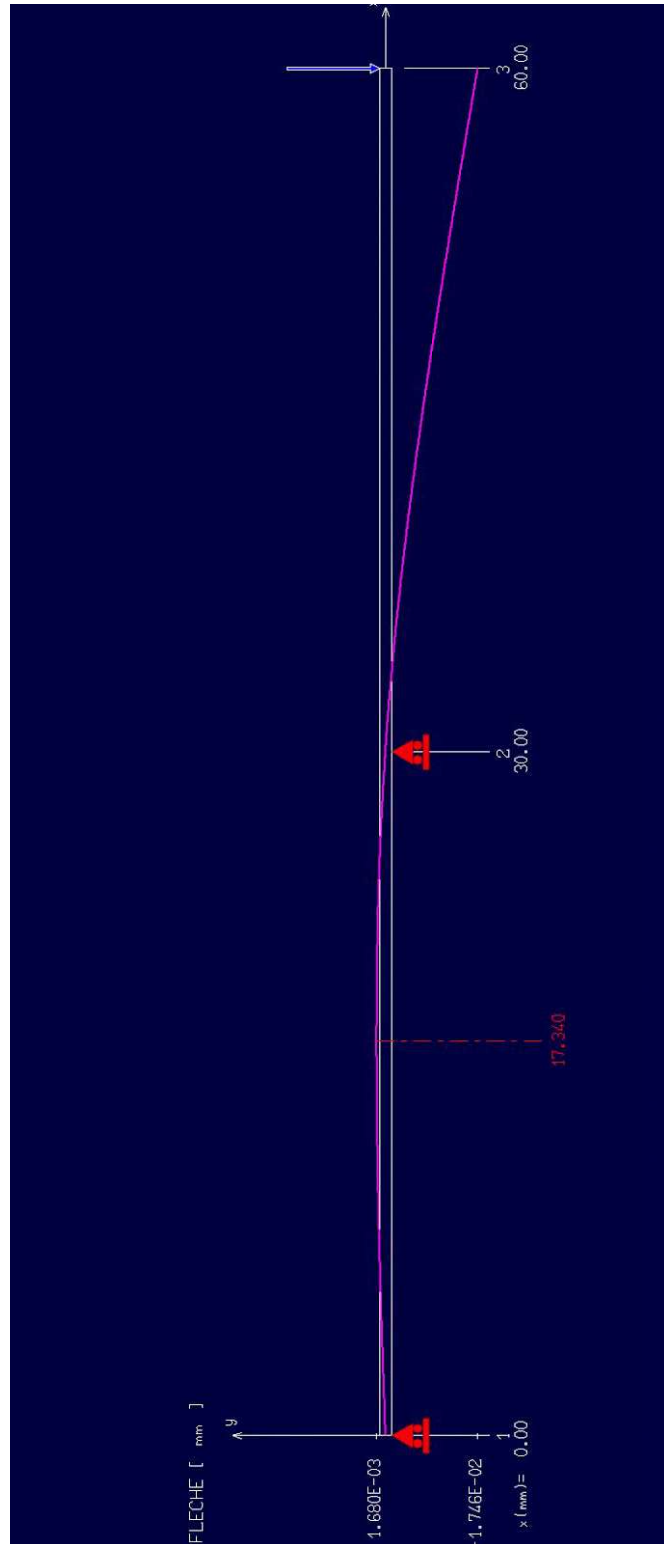
Dans l'ensemble, notre groupe est très satisfait de ce projet pour plusieurs raisons. En effet, ce projet se démarque nettement des autres projets qui pour la plupart ne proposaient exclusivement que de la conception alors que notre projet était complet. On allait de la conception au dimensionnement jusqu'à la réalisation et le montage de notre système au Fabricarium. Cela permettait ainsi de balayer une grande variété de compétences que l'on a pu acquérir tout au long de notre cursus comme des notions de résistance des matériaux ou de fabrication pour n'en citer que deux. De plus, une spécificité propre à notre projet était finalement d'en offrir deux pour le prix d'un. Un premier système soumis à la contrainte d'être réalisé exclusivement dans un Fab-Lab ou un Tech-Shop et qui impliquait qu'on utilise des solutions et techniques uniquement réservées aux outils que mettent à disposition ces locaux. Le deuxième système avec une optique beaucoup plus industrielle permettait d'évaluer nos capacités à proposer des solutions simples industriellement pour la fabrication en grande série de notre système Lyre. Néanmoins, notre groupe reste déçu de ne pas avoir pu mener à bien ou du moins jusqu'au bout notre second système. Cela peut s'expliquer par une gestion du temps qui n'était peut être pas optimal de notre groupe même si dans l'ensemble nous faisons preuve d'une bonne organisation grâce par exemple à l'utilisation d'un cahier permettant au sein de notre groupe une communication optimale concernant les différentes parties relatives au projet, d'autres facteurs peuvent entrer en compte comme un manque de communication de notre part avec le client pour par exemple le boîtier contenant le pico-projecteur de notre système sur lequel on a du s'y reprendre à plusieurs reprises car nous prenions des dimensions légèrement aléatoires.

Par ce projet, on a pu aussi constater que la partie commande et réception des pièces peut faire perdre énormément de temps sur un projet. En effet, pour notre premier système, on avait complètement fini la conception, le dimensionnement, la mise en plan ainsi que la commande des pièces fin janvier. Pourtant à cause de toute la partie commande et réception, nous n'avons pu commencer le montage du système que fin mars.

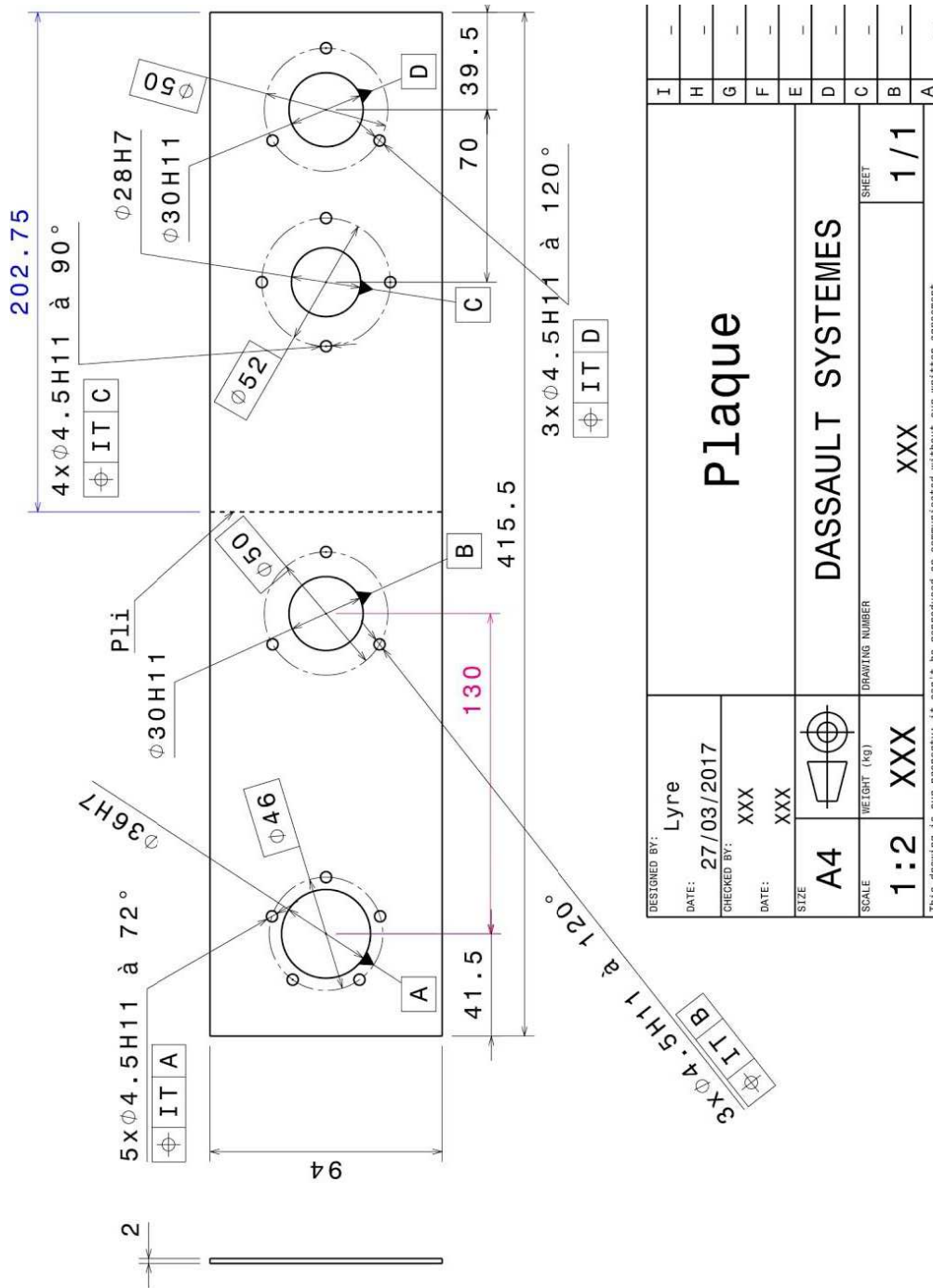
Ainsi, ce sont toutes les raisons pour lesquelles nous sommes content de ce projet mais aussi déçu de ne pas pouvoir voir la réalisation de notre second système.

## Annexe

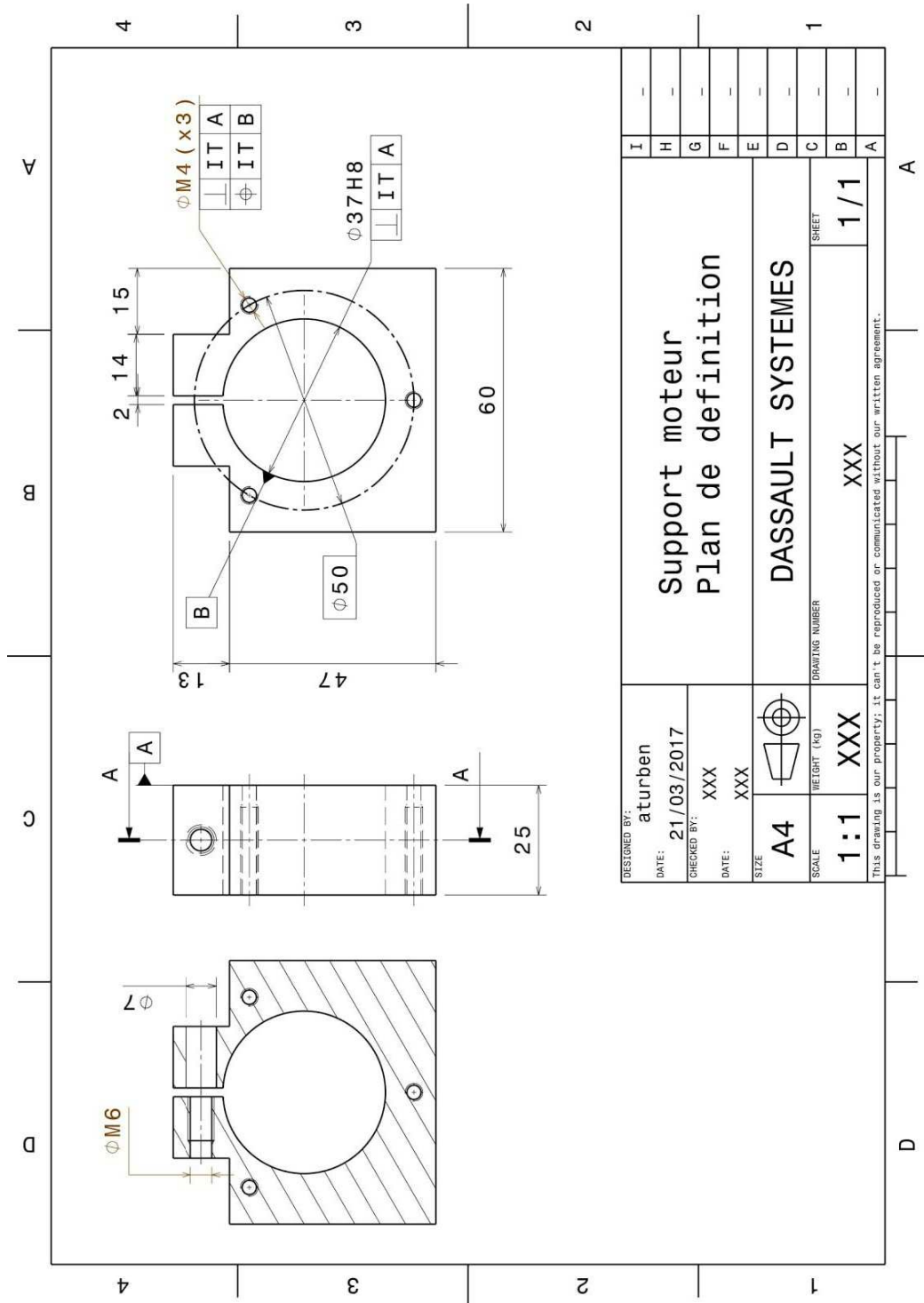
Annexe 1:



Annexe 2 :

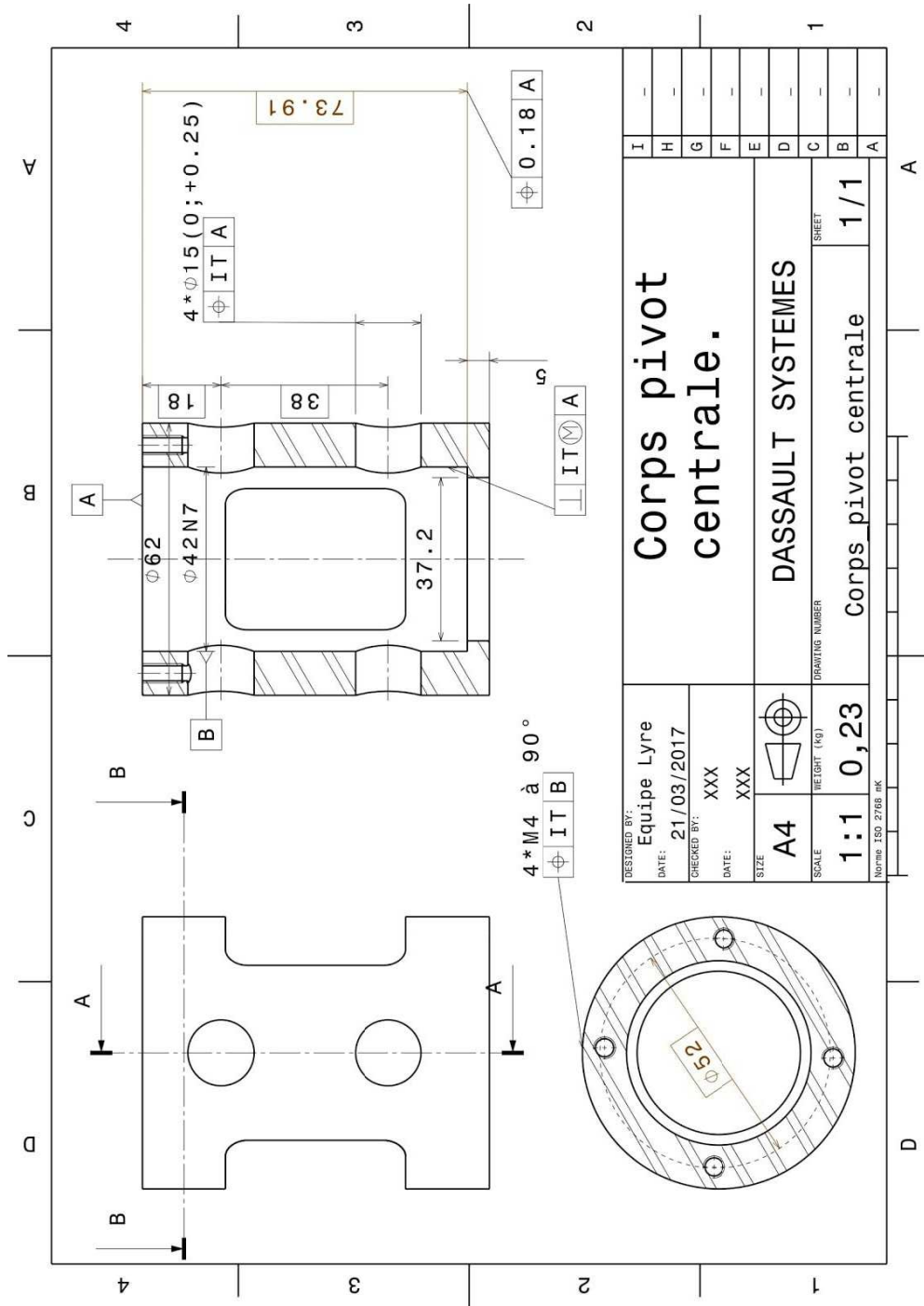


Annexe 3 :

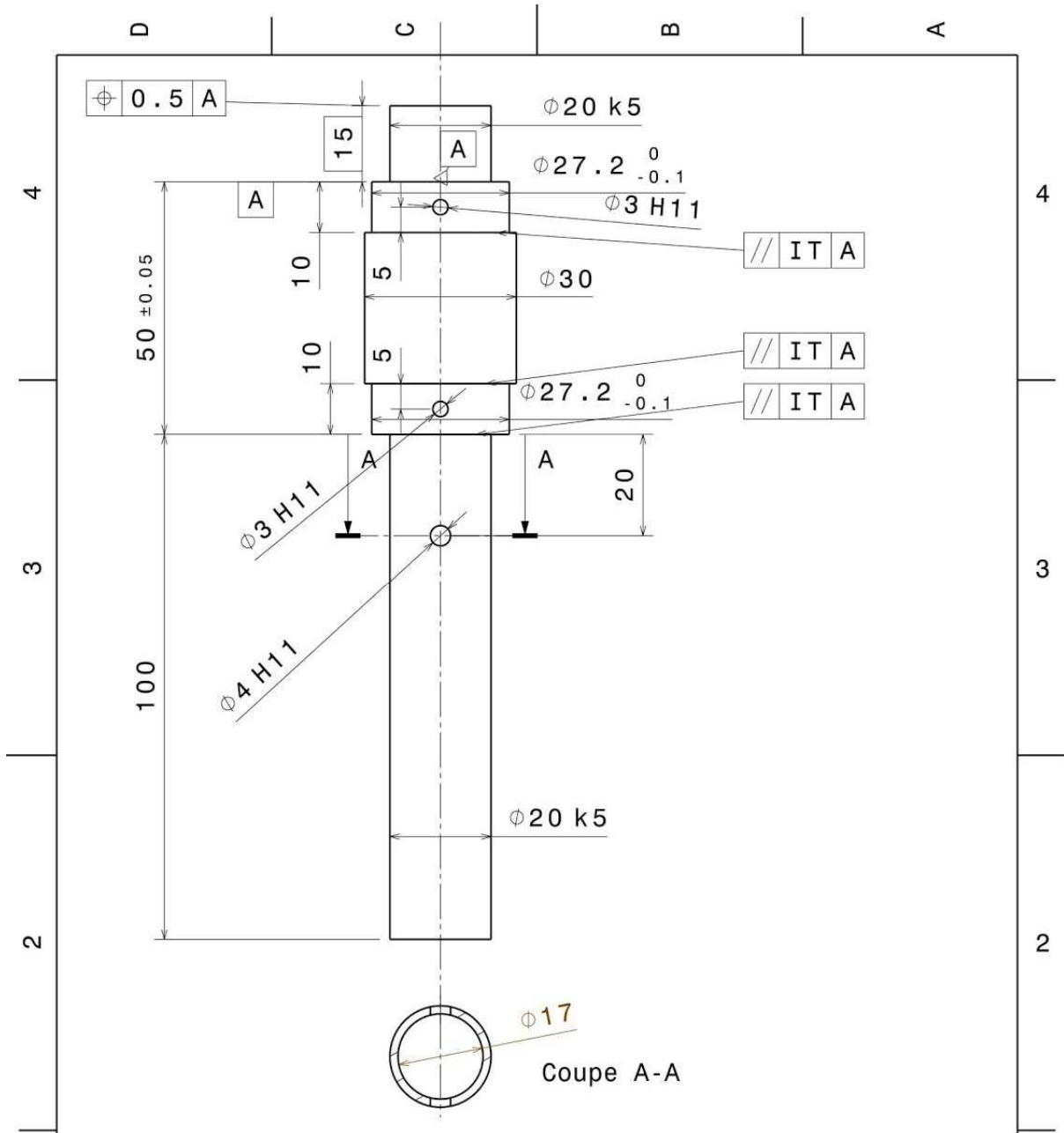


# Lyre

Annexe 4 :



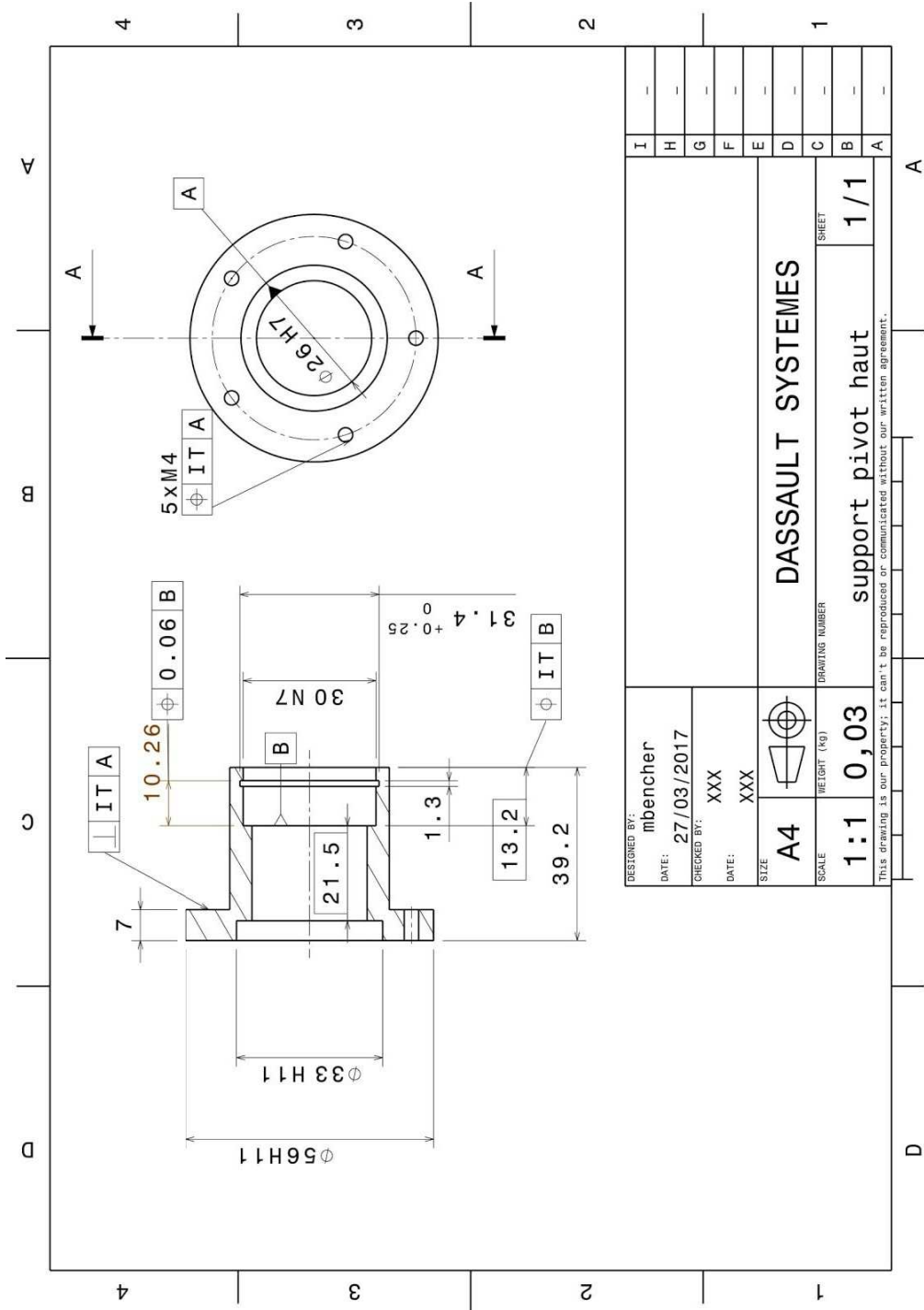
Annexe 5:



DESIGNED BY: Equipe Lyre		<h1>Arbre Pivot Centrale.</h1>		I	-
DATE: 27/03/2017				H	-
CHECKED BY: XXX		<h2>DASSAULT SYSTEMES</h2>		G	-
DATE: XXX				F	-
SIZE <b>A4</b>		<h3>Arbre pivot centrale.</h3>		E	-
SCALE <b>1:1</b>	WEIGHT (kg) <b>0,03</b>			DRAWING NUMBER <b>1/1</b>	SHEET <b>1/1</b>
Norme ISO 2768 mK				C	-
				B	-
				A	-

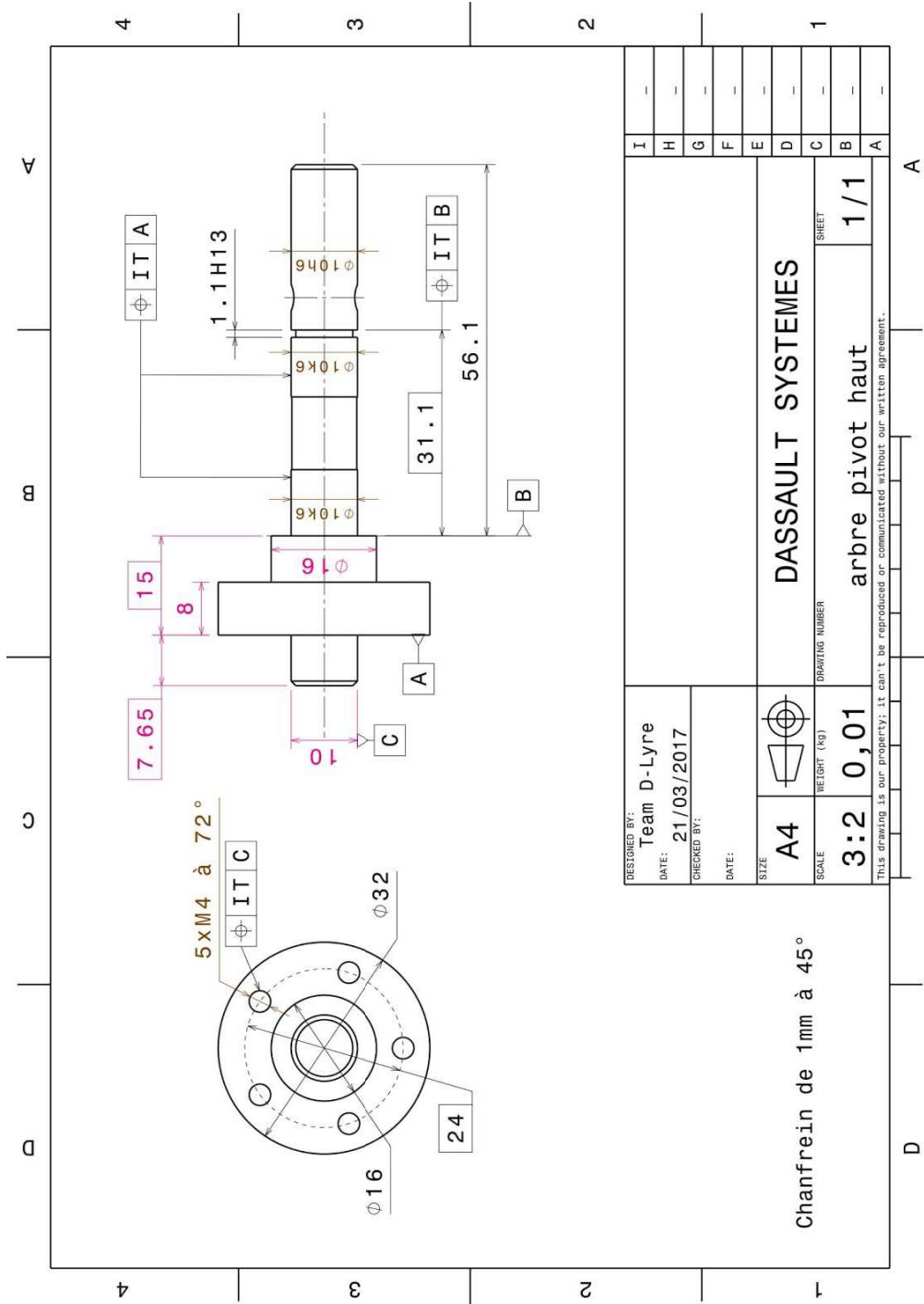


Annexe 6 :



# Lyre

Annexe 7 :



*OOGHE* Timothée  
*LEMPEREUR* Antoine  
*LARUE* Quentin  
*TURBEN* Alexis  
*BENCHERIF* Maher  
*DEMARQUET* Vincent

*Cahier des Charges Fonctionnelles (CdCF)*



# **Projet CSM2**

## **Cahier des charges fonctionnelles**

---

## Sommaire

<u>1</u>	<u>Présentation générale</u> .....	3
1.1	<u>Présentation du projet</u> .....	3
1.2	<u>Contexte d'utilisation du CdCF</u> .....	3
<u>2</u>	<u>Le produit et son domaine d'emploi</u> .....	3
2.1	<u>Le produit et sa limite d'utilisation</u> .....	3
2.1	<u>Le produit dans le marché actuel</u> .....	3
<u>3</u>	<u>Présentation des parties intéressées</u> .....	4
3.1	<u>Le demandeur</u> .....	4
3.2	<u>L'offreur (l'équipe)</u> .....	4
<u>4</u>	<u>Les phases du cycle de vie associé et la description des interacteurs</u> .....	4
<u>5</u>	<u>Les principes/concepts déjà retenus</u> .....	4
<u>6</u>	<u>Fonctions de service et les contraintes</u> .....	4
<u>7</u>	<u>Données économiques</u> .....	6
<u>8</u>	<u>Cadre de réponse</u> .....	6
<u>9</u>	<u>Glossaire</u> .....	7

## **1 Présentation générale**

### ***1.1 Présentation du projet***

L'objectif de ce système est de faire l'étude de fabrication et le prototypage d'une lyre de petite taille, motorisée sur 2 axes X,Y (Pan-Tilt) permettant le positionnement d'une image vidéo diffusée depuis un pico-vidéoprojecteur. Elle sera utilisée, en groupe, sur des projets artistiques reposant sur la multidiffusion et le déplacement de vidéo dans un espace.

Cette lyre est un outil. Elle est destinée à de multiples usages, extérieur ou intérieur et fonctionne en autonomie sur une batterie 12v. Elle se veut mécaniquement simple, robuste et low coast et doit être complètement nomenclaturée afin de pouvoir la dupliquer dans des Fab-lab. Le projet étant de publier les plans et les sources de cette objet en open source.

Les solutions présentes sur le marché ne fournissent pas une issue satisfaisante. En effet, ces solutions sont relativement rares pour la mise en mouvement de projecteur, très onéreuses et ne sont pas à un point de développement optimale.

### ***1.2 Contexte d'utilisation du CdCF***

Dans le cadre de notre étude, nous avons pris contact avec l'entreprise Metalu.net afin de connaître les exigences exactes du système ainsi que les solutions des ébauches.

## **2 Le produit et son domaine d'emploi**

### ***1.1 Le produit et sa limite d'utilisation***

Le produit a pour but de faciliter la diffusion de vidéo ou image dans le cadre de projet artistique. En effet, le système proposerait une diffusion d'image multi-directionnel grâce à deux moteurs commandés.

### ***1.2 Le produit dans le marché actuel***

Ce produit possède un grand avenir sur le marché actuel. En effet, de nos jours les produits existant ne sont pas adaptés pour des vidéoprojecteurs mais plus pour des lumières. Il y a cependant quelques lyres existantes sur le marché mais le prix est extrêmement élevé. Cela signifie qu'il existe une demande potentielle forte pour ce projet car un des objectifs principaux est de réduire le coût de fabrication au maximum.

### 3 Présentation des parties intéressées

#### 3.1 Le demandeur

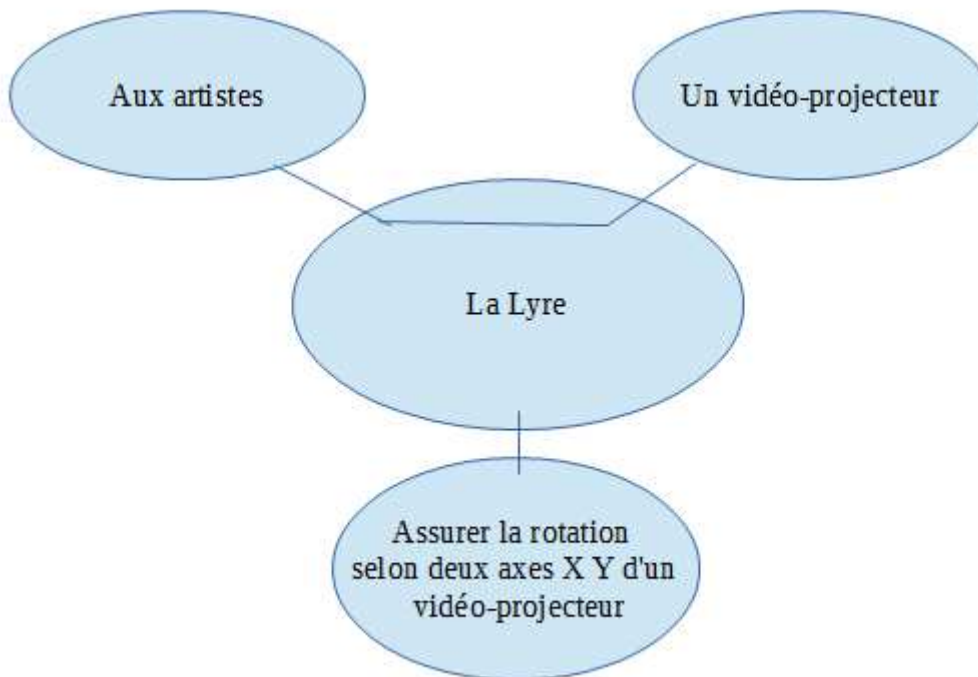
Le demandeur est l'entreprise Metalu.net qui nous a confié l'étude de la lyre.

#### 3.2 L'offreur (l'équipe)

Le groupe d'étudiants en Conception Mécanique de 4ème année à Polytech'Lille.

### 4 Les phases du cycle de vie associé et la description des intérateurs

#### Bête à corne



---

## **5 Les principes/concepts déjà retenus**

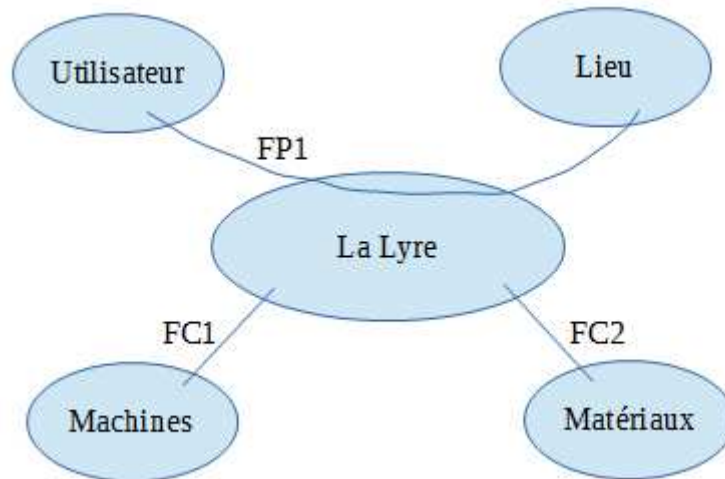
Les principes déjà retenus sont :

- Entraînement par courroie
- Commande Raspberry Pi3
- Le pico-vidéoprojecteur

## **6 Fonctions de service et les contraintes**

- Conception
- Fabrication → Phase 00: - Fabrication dans un Fab-lab (ou Tech-shop)
- Montage → Phase 10: Montage du système avec le vidéoprojecteur
  - Montable par n'importe qui
  - Utiliser le moins d'outils possibles
- Utilisation → Phase 20: Orientation verticale
  - Parties électroniques étanches
  - Mouvement de rotation selon les deux axes X et Y
- Phase 30: Orientation horizontale
  - Parties électroniques étanches
  - Mouvement de rotation selon les deux axes X et Y
  - Résistance des liaisons au changement du centre de gravité (porte-à-faux)

Phase 00: Fabrication dans un Fab-lab



FP1: Permettre à un utilisateur quelconque de fabriquer la lyre dans un Fab-lab.

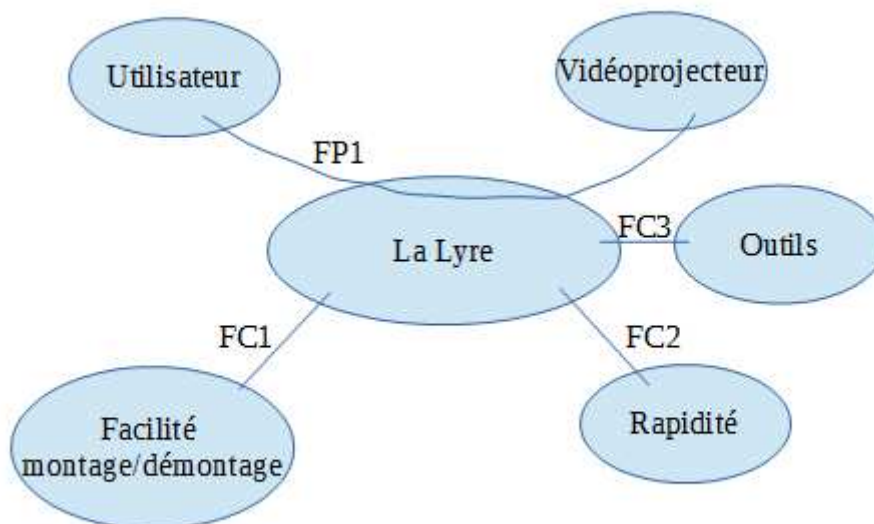
FC1: Limiter les pièces aux dimensions des machines disponibles.

FC2: Utiliser des matériaux facilement trouvable dans un Fab-lab

Critères Phase00	Critères	Niveau	Tolérance	Flexibilité (0 à 4)
FP1	Fabriquer la lyre par une personne novice dans un Fab-lab	0	/	1
FC1	Dimensions	0	/	1
FC2	Matériaux : Bois, PLA	0	/	0



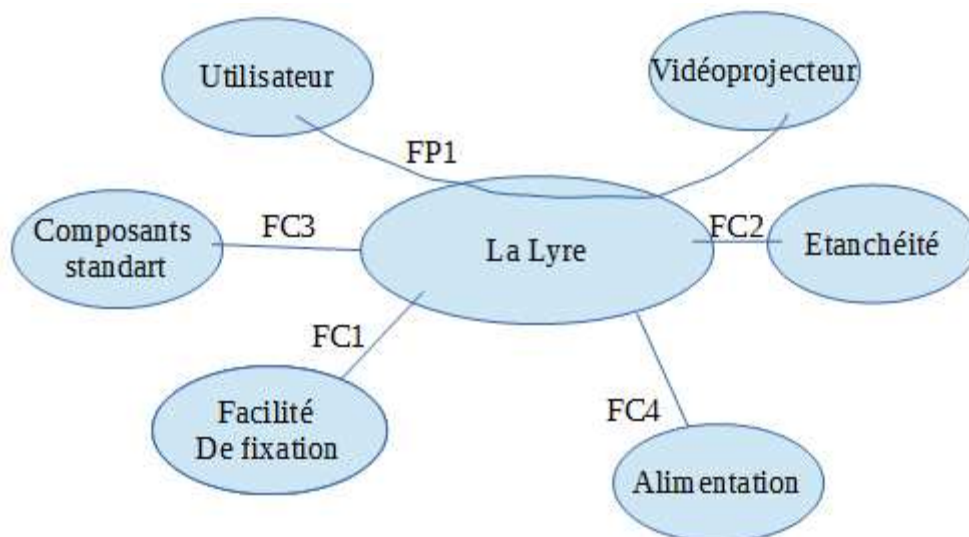
Phase 10: Montage du système avec le vidéoprojecteur



- FP1: Monter le plus facilement possible le vidéoprojecteur sur la lyre.  
 FC1: Faciliter au maximum le montage et le démontage du système à répétition.  
 FC2: Monter et démonter rapidement le système  
 FC3: Permettre le montage/démontage avec des outils de base.

Critère Phase 10	Critères	Niveau	Tolérance	Flexibilité (0 à 4)
FP1	Monter facilement le vidéoprojecteur sur la lyre	0	/	1
FC1	Faciliter à répétition le montage /démontage	0	/	2
FC2	Monter/démonter rapidement le système	0	/	2
FC3	Monter /Démonter avec des outils de base	0	/	1

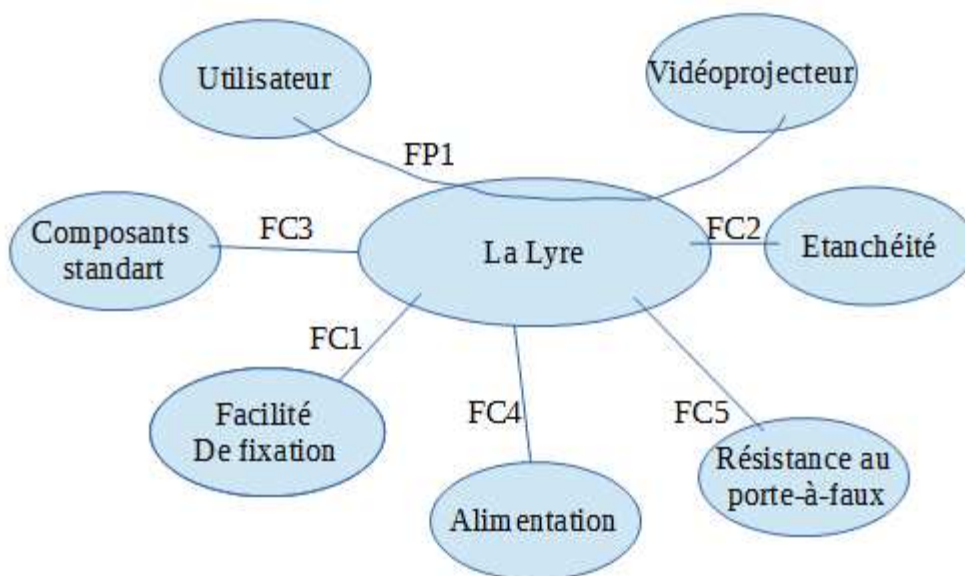
Phase 20: Orientation verticale



- FP1: Permettre une utilisation verticale du système
- FC1: Fixer facilement le support en position verticale
- FC2: Concevoir un système étanche
- FC3: Utiliser des composants standard
- FC4: Utiliser une alimentation adaptable à un système en rotation.

Critère Phase 20	Critères	Niveau	Tolérance	Flexibilité (0 à 4)
FP1	Utiliser verticalement le système	90°	/	0
FC1	Fixer verticalement le système	0	/	0
FC2	Concevoir un système étanche	0	/	0
FC3	Utiliser des composants standard	0	/	1
FC4	Utiliser alimentation adaptable pour un système en rotation	0	/	1

Phase 30: Orientation horizontale



- FP1: Permettre une utilisation horizontale du système
- FC1: Fixer facilement le support en position horizontal
- FC2: Concevoir un système étanche
- FC3: Utiliser des composants standard
- FC4: Utiliser une alimentation adaptable à un système en rotation.
- FC5: Résister au porte-à-faux

Critère Phase 20	Critères	Niveau	Tolérance	Flexibilité (0 à 4)
FP1	Utiliser horizontalement le système	180°	/	0
FC1	Fixer horizontalement le système	0	/	0
FC2	Concevoir un système étanche	0	/	0
FC3	Utiliser des composants standard	0	/	1
FC4	Utiliser alimentation adaptable pour un système en rotation	0	/	1
FC5	Résister au porte-à-faux	0	/	0

## **7 Données économiques**

Il convient sous cette rubrique de préciser éventuellement les coûts de développement, de production, le retour sur investissement attendu, le coût global de possession visé, etc.

Comme dans la majorité des projets, le coût (matière, composants, réalisation, ...) devra être minimisé tout en concevant un produit respectant le cahier des charges.

## **8 Cadre de réponse**

Le système demandera peu d'entretien, pourra résister aux différentes conditions climatiques (humidité, température,...) et sera facilement montable et démontable en vue de le retirer ou de tout simplement le ranger.

## **9** **Glossaire**

## Coût des matières et usinages

Élément	Quantité	Longueur(m)	Surface(m <sup>2</sup> )	Prix unitaire
Roulement 6004-2RS	2	-	-	2,56
Coussinet IGUS JFM-1012-05	2	-	-	2,67
Tige filetée M4	4	0,125	-	1,73
Poulie 27T5-15/ECO	2	-	-	9,55
Poulie 15T5-15	2	-	-	21,07
Plexiglas ep 6	-	-	0,164	70
Plexiglas ep 10	-	-	0,056	100
CHC M4x25	8	-	-	-
Vis Pico ref ?	-	-	-	-
CHC M4x20	20	-	-	-
CHC M3x8	6	-	-	-
Goupille élastique ISO 8752-4x3	2	-	-	-

Ecrou H M4	36	-	-	-
Vis sans tête à 6 pans creux à b	2	-	-	-
Tube D20 ep 1,5	1	0,18	-	4,18
Courroie T5/280/6	1	-	-	12,38
Courroie T5/365/6	1	-	-	12,87
Charbon Bosch 0149 x2	2	-	-	4,9

Pièce	Quantité	durée unitaire (heures)	Prix €
Corps pivot	2	2	4,00 €
Dessus boitier fraise	1	1	1,00 €
Fond boitier fraise	1	1	1,00 €
Support moteur	2	10	20,00 €
Support encastrement	2	2	4,00 €
pièces assemblage	6	0,25	1,50 €
Prix total			31,50 €

Lien	Élément
<a href="https://www.123roulement.com/ro">https://www.123roulement.com/ro</a>	Roulement 6004-2RS
<a href="http://www.igus.fr/iPro/iPro_02">http://www.igus.fr/iPro/iPro_02</a>	Coussinet IGUS JFM-1012-05
<a href="http://www.visseriefixations.fr/tiges">http://www.visseriefixations.fr/tiges</a>	Tige filetée M4
<a href="http://shop.hpceurope.com/fr/pr">http://shop.hpceurope.com/fr/pr</a>	Poulie 27T5-15/ECO
<a href="http://shop.hpceurope.com/fr/pr">http://shop.hpceurope.com/fr/pr</a>	Poulie 15T5-15
	Plexiglas ep 6
	Plexiglas ep 10
	CHC M4x25
	Vis Pico ref ?
	CHC M4x20
	Ecrou H M4
	Vis sans tête à 6 pans creux à bout plat ISO 4026-M4x12
<a href="https://lemetal.fr/tube-rond-acier">https://lemetal.fr/tube-rond-acier</a>	Tube D20 ep 1,5
<a href="http://shop.hpceurope.com/fr/prod">http://shop.hpceurope.com/fr/prod</a>	Courroie T5/280/6
<a href="http://shop.hpceurope.com/fr/prod">http://shop.hpceurope.com/fr/prod</a>	Courroie T5/365/6
<a href="http://www.condensateur-web.fr/j">http://www.condensateur-web.fr/j</a>	Charbon Bosch 0149 x2

**Projet Lyre**  
**Notice de montage**

## Sommaire

1	Présentation.....	3
	<b>1.1 Présentation du projet.....</b>	<b>3</b>
2	Matériel.....	3
	<b>1.1 Outils.....</b>	<b>3</b>
	<b>1.2 Produits.....</b>	<b>3</b>
3	Montage.....	4
	<b>3.1 La boîte.....</b>	<b>4</b>
	<b>3.2 Assemblage liaison pivot centrale.....</b>	<b>7</b>
	<b>3.3 Assemblage bâti gauche.....</b>	<b>9</b>
	<b>3.4 Assemblage de la Lyre 1.0.....</b>	<b>9</b>
4	Fin.....	12
5	Glossaire.....	13



# 1 Présentation

## 1.1 *Présentation du projet*

L'objectif de ce système est de faire l'étude de fabrication et le prototypage d'une lyre de petite taille, motorisée sur 2 axes X,Y (Pan-Tilt) permettant le positionnement d'une image vidéo diffusée depuis un pico-vidéoprojecteur. Elle sera utilisée, en groupe, sur des projets artistiques reposant sur la multidiffusion et le déplacement de vidéo dans un espace.

Cette lyre est un outil. Elle est destinée à de multiples usages, extérieur ou intérieur et fonctionne en autonomie sur une batterie 12v. Elle se veut mécaniquement simple, robuste et low coast et doit être complètement nomenclaturée afin de pouvoir la dupliquer dans des Fab-lab. Le projet étant de publier les plans et les sources de cette objet en open source.

# 2 Matériel

## 1.1 *Outils*

Liste des outils nécessaire à la fabrication de la lyre :

- ✓ Découpeuse laser
- ✓ Imprimante 3D
- ✓ Perceuse à axe vertical
- ✓ Clé 6 pans creux
- ✓ Tournevis cruciforme
- ✓ Maillet
- ✓ Seringue

## 1.2 *Produits*

Liste des outils nécessaire à la fabrication de la lyre :

- ✓ Acétone
- ✓ Colle pour collage roulement
- ✓ Colle époxy
- ✓ Papier de verre

## 3 Montage

### 3.1 La boîte

Au préalable, lors de l'assemblage de la boîte, veuillez vous assurer de protéger le plan de travail avec un matériau poreux (afin d'éviter la propagation d'acétone en cas de fuite).

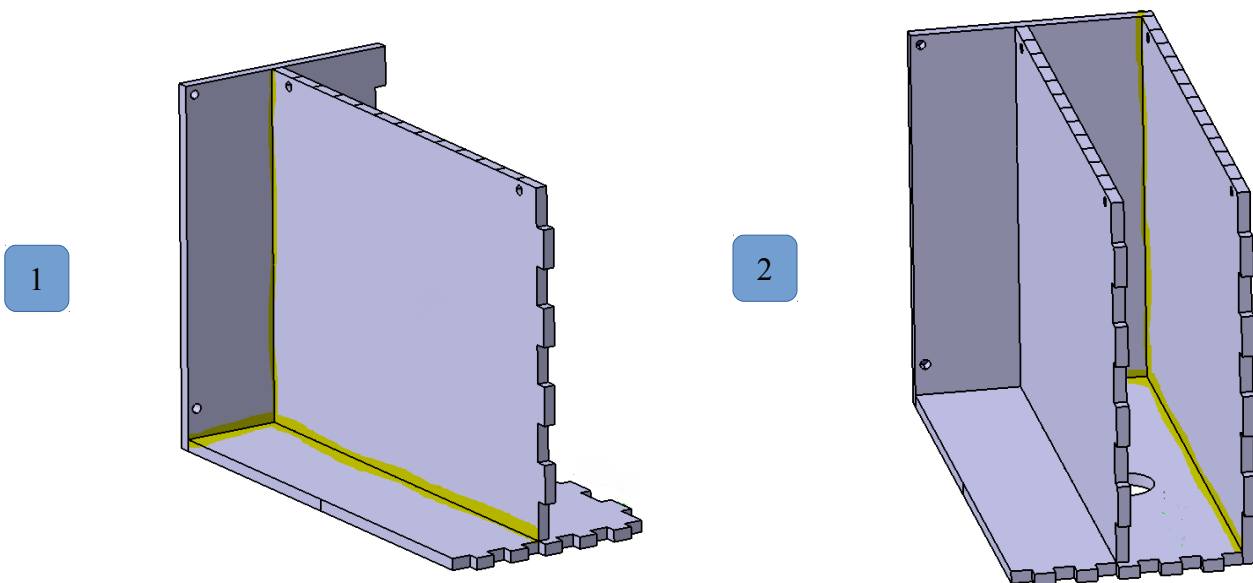
Pré-requis :

- ✓ Les 7 plaques en PMMA découpées grâce aux fichiers SVG
- ✓ Acétone et seringue

Explication collage à l'acétone :

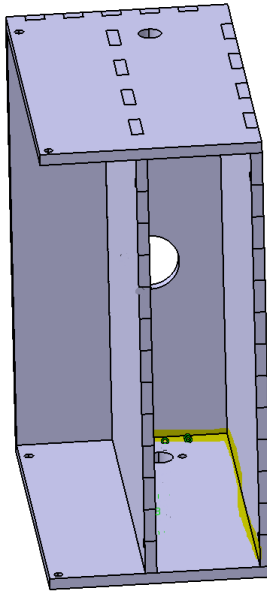
Entre deux plaques, déposer quelques gouttes d'acétone à jonction entre celles-ci sur toute la longueur grâce à la seringue. Veuillez être attentif au bon maintien des plaques entre elles (mise en position). Laisser sécher pendant 1 heure.

Pour l'étape 1, placer une des plaques latérales, la plaque de devant et la plaque intermédiaire comme suit et coller les plaques aux endroits colorés en jaune. Faire de-même avec la plaque du bas dans l'étape 2 :



Ensuite, mettre la deuxième plaque latérale et retourner la boîte avec précaution pour que cette dernière plaque se retrouve vers le bas :

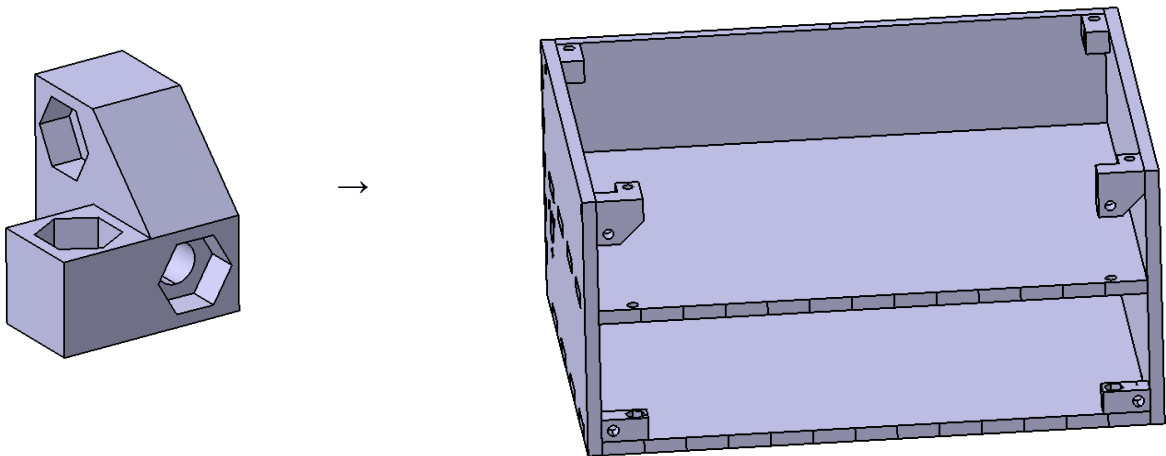
3



Laisser le tout sécher au minimum 30 minutes.

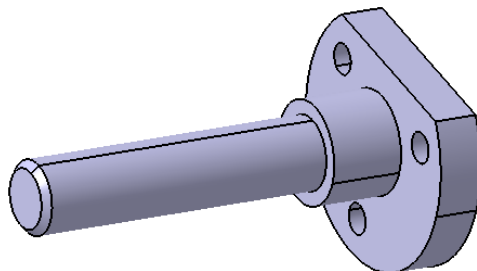
L'étape suivante consiste à placer les 6 pièces (2 doubles et 4 simples) d'assemblage grâce aux vis M4 et écrou M4.

4



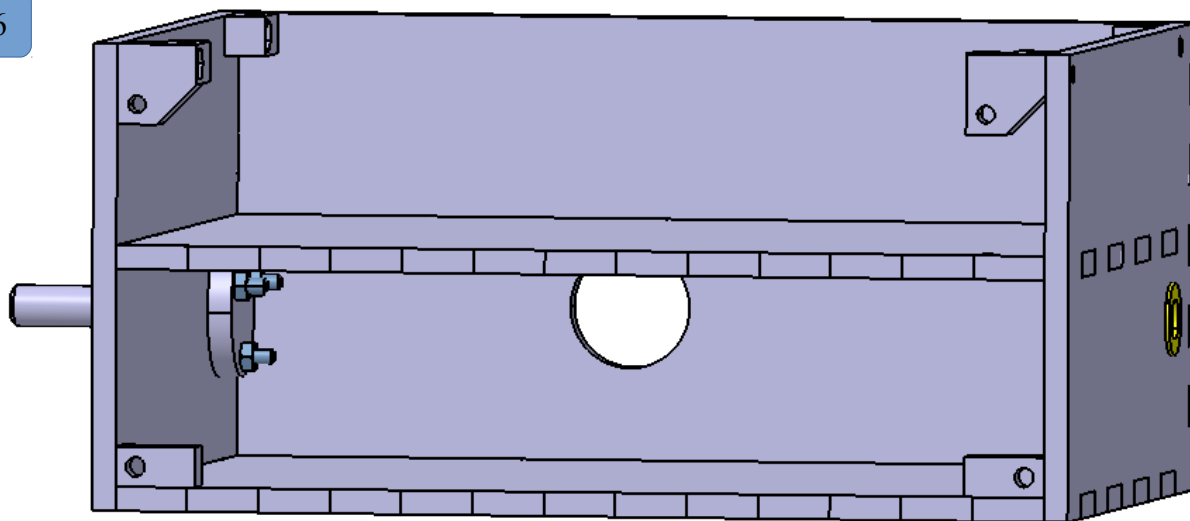
Faire l'assemblage collé entre le stub d10 avec la pièce pivot n°24 (colle époxy) :

5



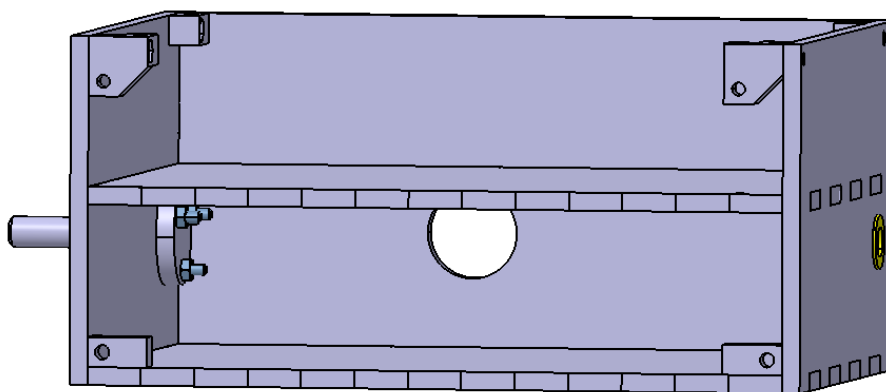
Après séchage de la colle, placer la pièce de l'étape 5 dans la boîte et fixez la grâce aux 3 vis M' et au 3 écrous M4. Ajoutez également le coussinet sur la plaque latérale opposée (Attention, collerette à l'extérieur) :

6

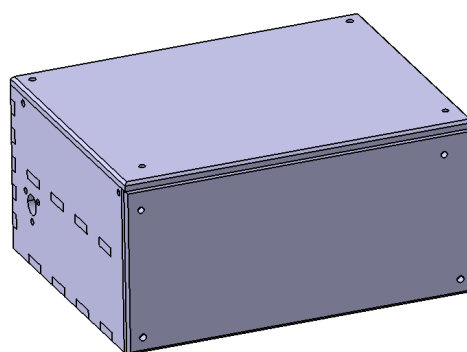


Placez le pico-projecteur sur la plaque intermédiaire pour que le faisceau projeté coïncide avec l'ouverture de la boîte. Marquez au crayon l'endroit des trous à percer. Percez les trous de passage pour la fixation du pico-projecteur sur la plaque intermédiaire (Placer des tasseaux pour éviter que la plaque intermédiaire fléchisse lors du perçage) :

7



Finalement, vissez la plaque supérieure et arrière grâce aux vis M4.



### 3.2 Assemblage liaison pivot centrale

Pré-requis :

- ✓ Les deux corps pivot et l'entretoise pivot imprimés en 3D
- ✓ La tige filetée tronçonnée en 4 longueurs de 125mm
- ✓ Le tube d'une longueur supérieure à 180mm

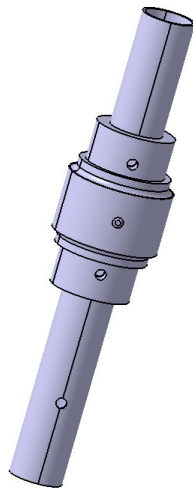
1

Glisser sur le tube l'entretoise pivot de manière à ce que la partie supérieure de cette dernière soit distante d'environ 45mm. Ensuite, percer un trou traversant diamètre 4mm au centre de l'épaulement de l'entretoise (on perce ainsi l'entretoise et le tube pour s'assurer de la bonne concentricité des trous). On vient alors mater la goupille diamètre 4 de longueur 40 dans le trou.

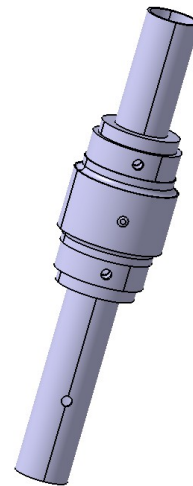
2

Glisser les deux bagues conductrices sur l'entretoise jusqu'à ce qu'elles arrivent en butée sur l'épaulement. Percer alors un trou diamètre 4 dans chaque bague mise en position jusqu'à l'intérieur du tube (on s'assure ici encore de la concentricité des trous).

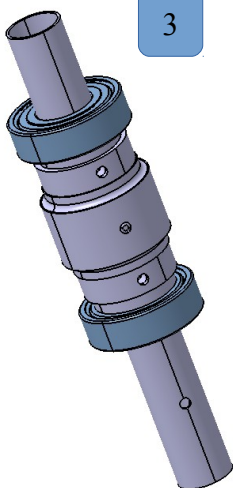
1



2



3

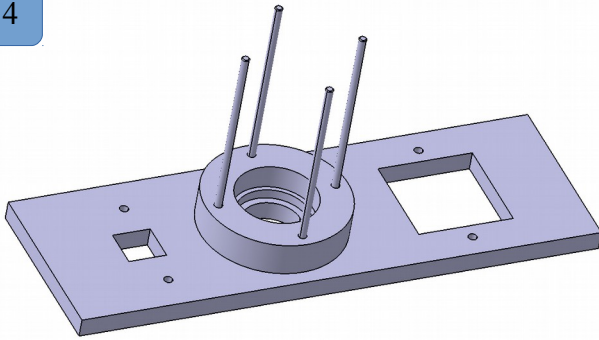


Poser les roulements en haut et en bas de l'entretoise en collant les bagues intérieures (on fait attention ici que les bagues soient bien en butée sur l'entretoise).

Méthode pour coller les bagues de roulement : (colle LOCTITE 660)

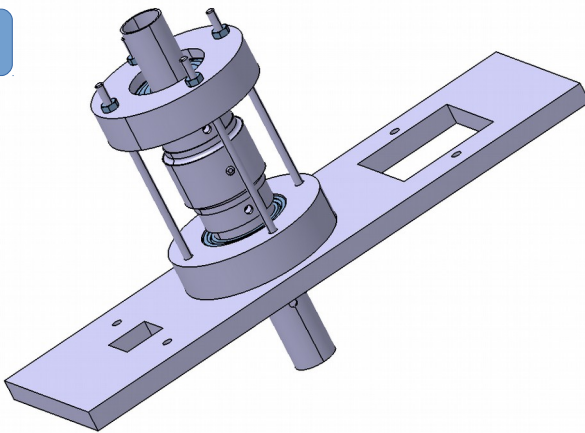
- Appliquer sur toute la surface de l'arbre en contact avec le roulement.
- Il est possible de chauffer légèrement le roulement pour faire polymériser plus rapidement la colle.
- Déposer rapidement la bague intérieure sur la colle en la posant sur le premier épaulement.

4



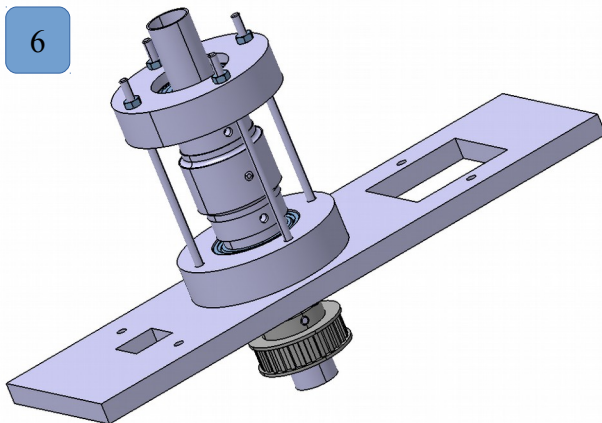
Poser le premier corps pivot sur la plaque et percer les quatre trous déjà sur la pièce avec un diamètre légèrement supérieur à 4mm (on perce également la plaque). Y passer les tiges filetées et visser les écrous en dessous en laissant le moins de longueur sortante possible.

5



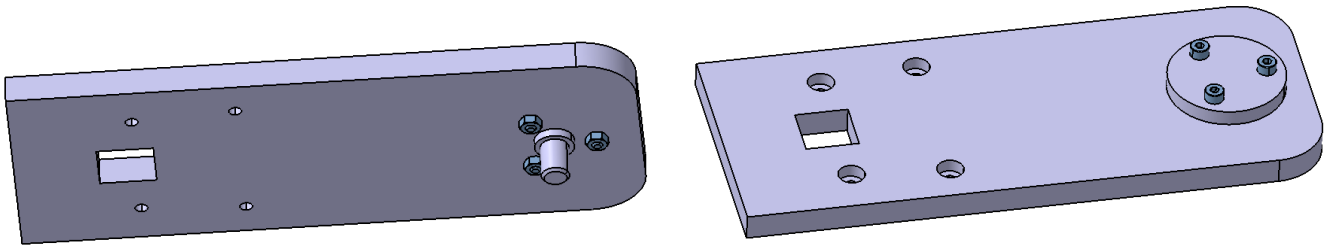
Ajouter l'ensemble précédent sur le premier corps pivot et refermer la pivot avec le second corps pivot (cette dernière passe dans les tiges filetées comme pour le premier corps). Rajouter les écrous sur les tiges filetées pour fermer complètement l'ensemble.

6



A ce stade, la poulie a déjà son vis-à-vis de mis en place. On s'arrange donc pour que les deux poulies soient dans un même plan horizontal et on vient percer avec un diamètre 4 la poulie et le tube en traversant tout. On vient alors mater une goupille traversante dans l'ensemble.

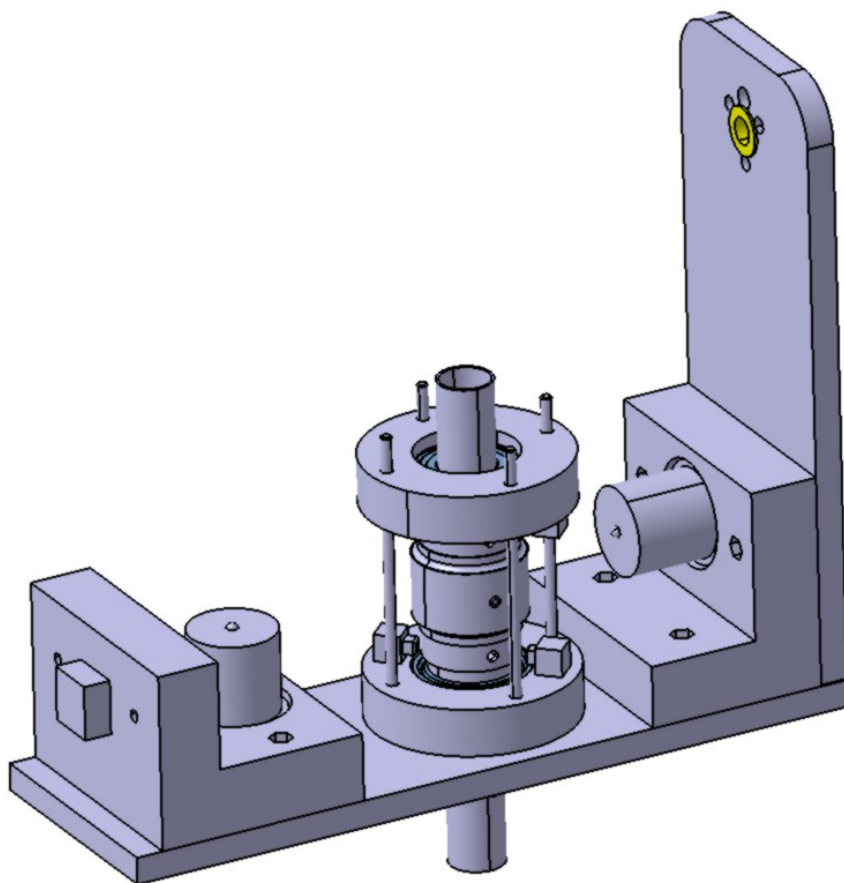
### 3.3 *Assemblage bâti gauche*



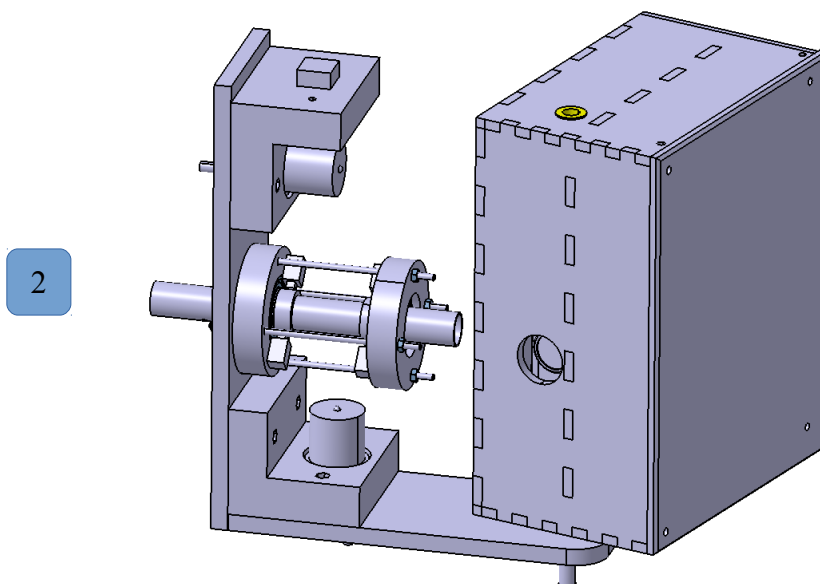
Assemblez l'ensemble bâti gauche grâce au chapeau, 3 écrous M4 ainsi que 3 vis M4x20 comme vu ci-dessus.

### 3.4 *Assemblage de la Lyre 1.0*

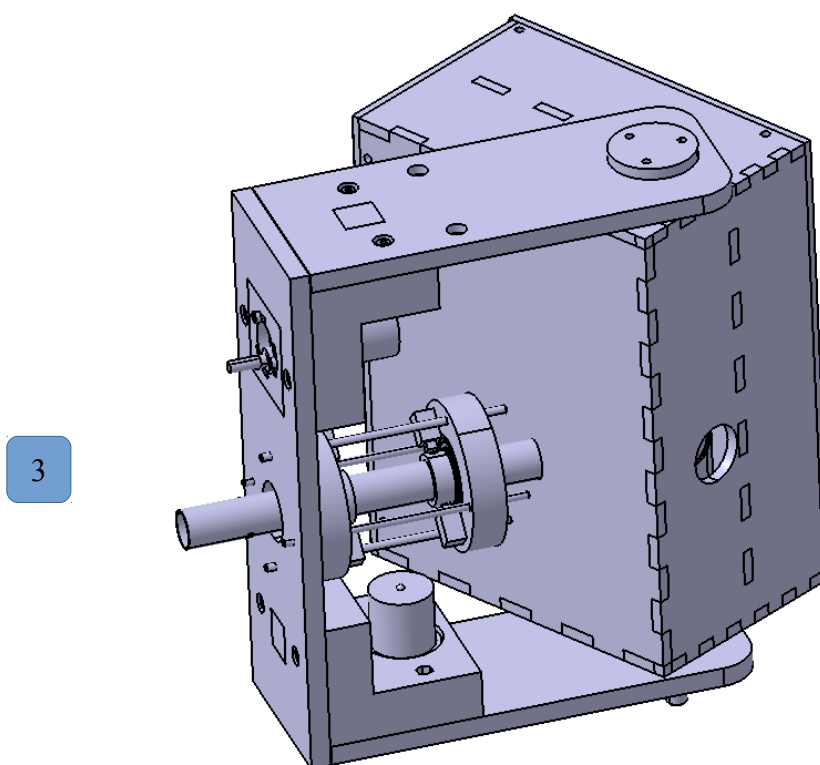
Assemblez la plaque latérale droite du bâti avec l'assemblage « liaison pivot centrale » créée précédemment. Pour cela, utilisez la pièce support moteur (impression 3D) permettant de lier les deux sous ensemble et de mettre en position les deux plaques par rapport à la perpendicularité voulue. Utilisez 4 vis M4x30 et 4 écrous M4. Fixez également le deuxième support pivot uniquement sur l'assemblage de la liaison pivot centrale. Placez également le coussinet avec la collerette à l'intérieur du U. Fixez les moteurs dans les supports moteurs avec 3 vis M3 dans les trous oblongs de ce dernier. Étape 1 :



Posez la lyre sur la face extérieur de la plaque latérale et venez déposer la boîte dans l'alésage prévu dans la plaque latérale droite.



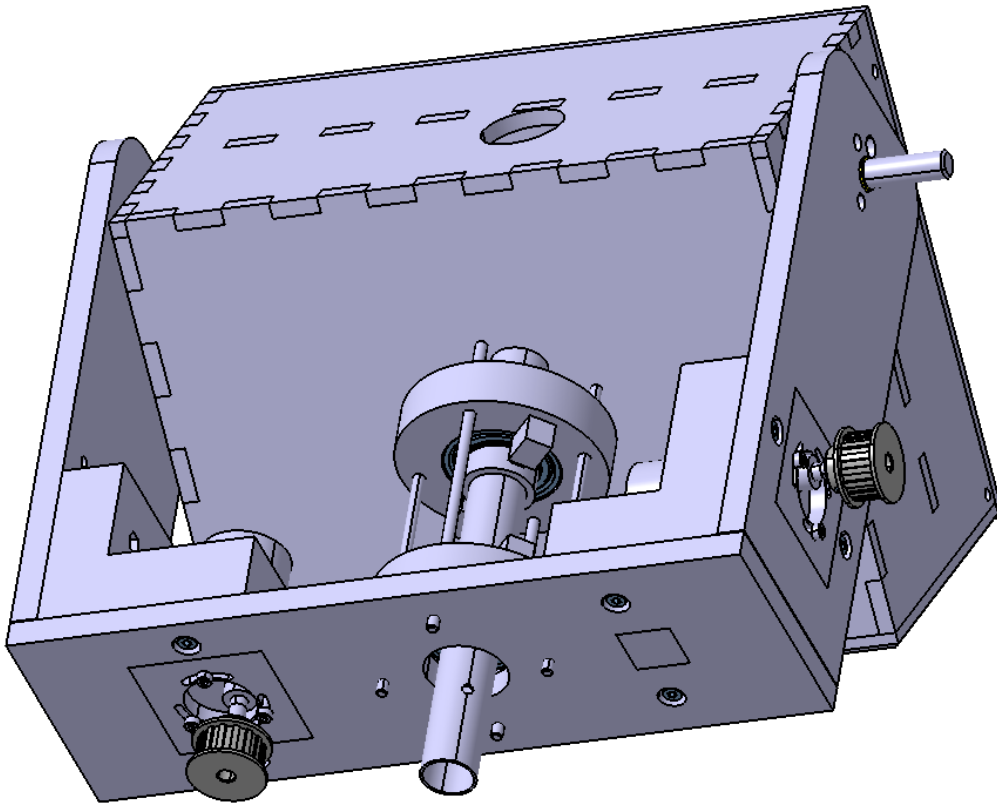
Venez insérer l'assemblage de la plaque gauche. Ajoutez les deux vis de serrage M4 sur la pièce de support moteur.





### Mise en place des poulies :

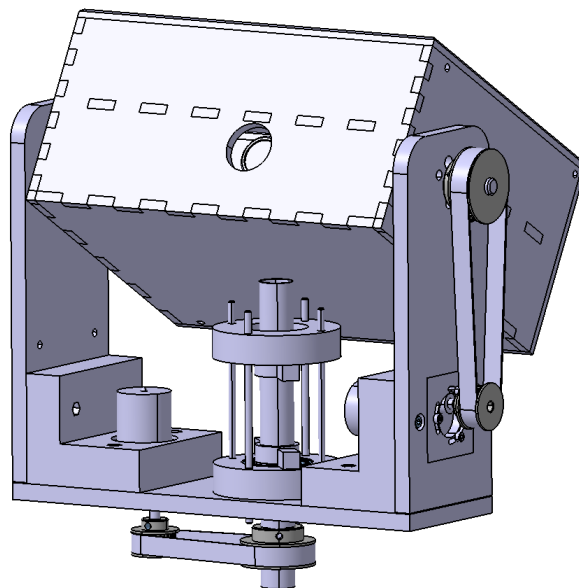
4



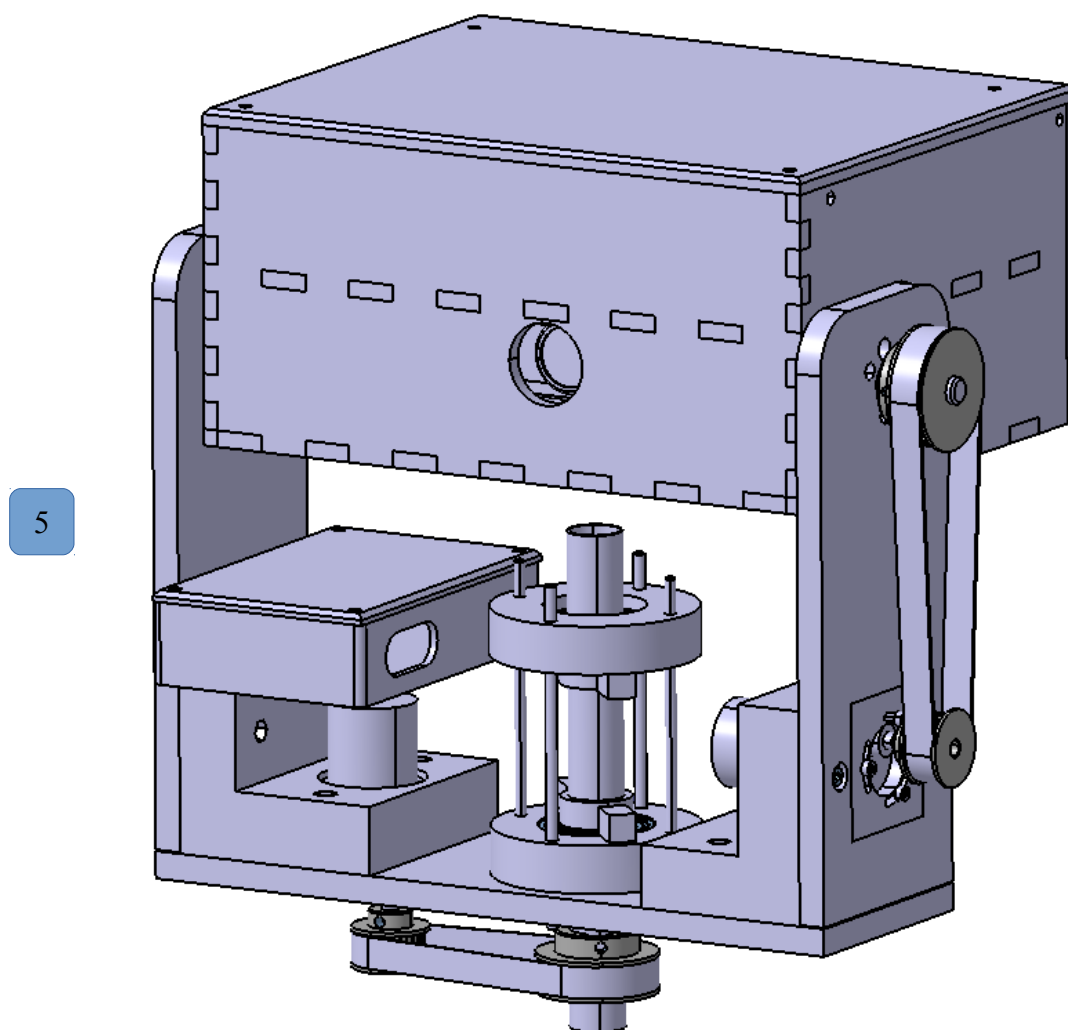
Placez la petite poulie au plus près du moteur possible et serrez la vis de pression afin de fixer la petite poulie sur l'arbre moteur. Pour la poulie sur le second arbre, venez placer la poulie à la bonne hauteur afin de garantir un bon alignement entre les deux poulies. Une fois le bon alignement trouvé, tracez un point avec un feutre à l'endroit où il faut percer l'arbre. Enlevez la grande poulie, percez le tube avec un diamètre 4. Vous pouvez donc ensuite la replacer et insérer la goupille élastique de d4.

Réinitialiser la manipulation pour le deuxième système poulie/courroie.

4



**Mise en place du boîtier « Fraise » :**



Placez le boîtier Fraise au dessus du support moteur du coté de la plaque latérale gauche. Utilisez les deux trous de vis pour effectuer deux boulonnages. En ce qui concerne la fixation du couvercle du boîtier Fraise, collés les écrous M4 au fond des quatre empreintes prévues à cet effet dans le boîtier.

**4 Fin**

## 5 Glossaire

Colle LOCTITE 660 :

<http://www.loctite.fr/loctite-5845.htm?nodeid=8802627715073>