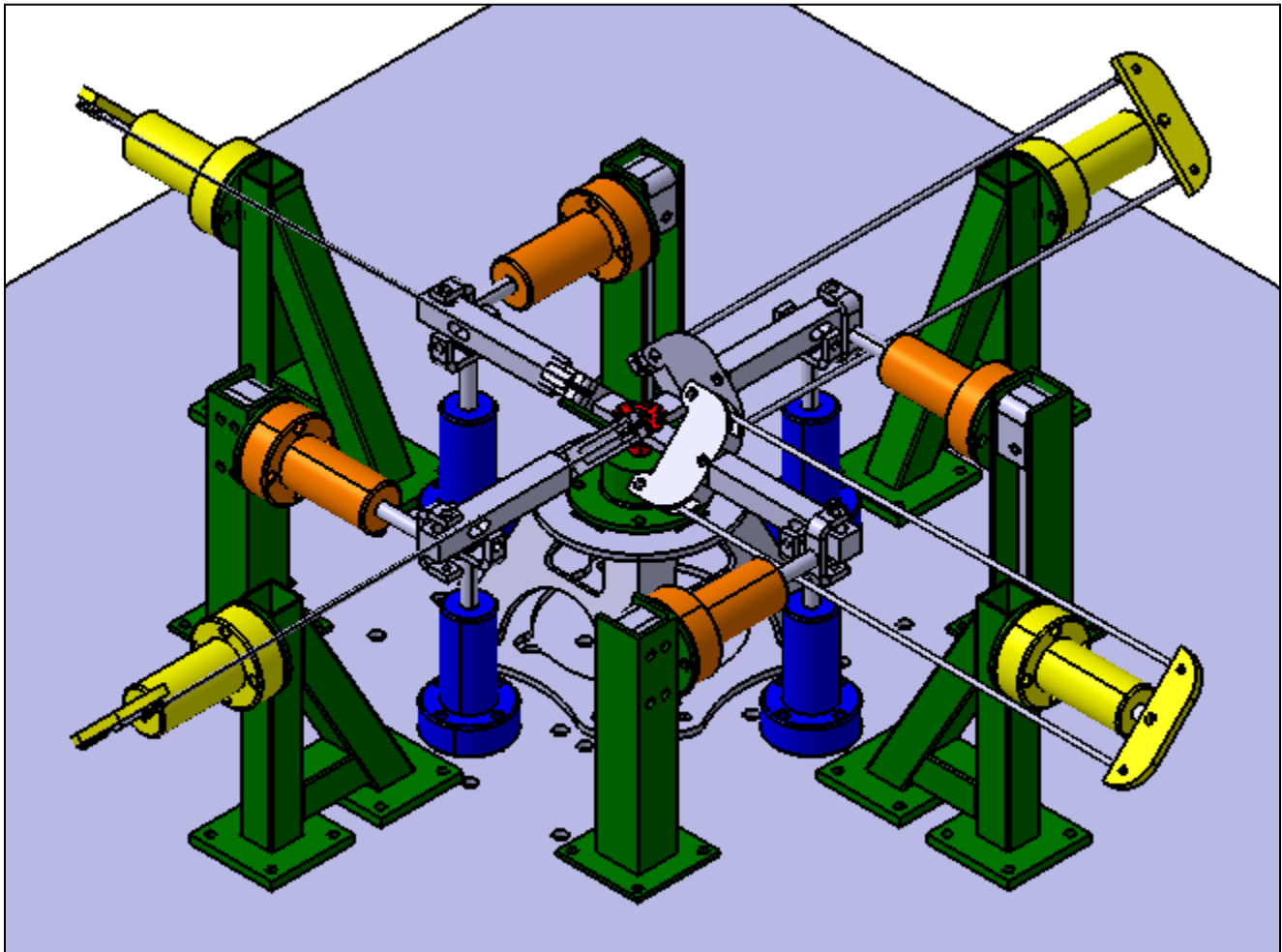


PROJET MAQUETTE DE BANC D'ESSAI D'AIRBUS



SOMMAIRE

I/ Introduction.....	3
1. Mise en contexte.....	3
2. Problématique.....	4
3. Objectif du projet.....	4
II/ Analyse, méthodes et gestion de projet.....	4
1. Planification de projet.....	4
2. Analyse fonctionnelle et Diagramme Pieuvre.....	6
3. Cahier des charges.....	7
4. Schéma cinématique simplifié de ¼ de la maquette.....	8
III/ Développement et Résultats obtenus.....	9
1. Conception.....	9
a. Vérin de portance.....	9
b. Vérin centrifuge.....	9
c. Bâti.....	10
d. Vérin de traînée.....	10
2. Fabrication.....	11
a. Vérin de portance.....	11
b. Vérin centrifuge.....	11
c. Bâti.....	12
d. Vérin de trainée.....	13
3. Automatisation et instrumentation.....	14
a. Pilotage.....	14
b. Acquisition.....	17
4. Assemblage.....	20
IV/ Bilan du projet.....	20
1. Retour critique sur le projet.....	20
a. Conception et Fabrication.....	20
b. Automatisation.....	21
2. Conclusion.....	21
3. Perspectives.....	22
VI/ Annexes.....	23
Annexe 1 : Cahier Des Charges.....	23
Annexe 2 : Dessins techniques.....	24
Annexe 3 : Dimensionnement.....	48
Annexe 4 : Notice de Montage.....	49

I/ Introduction

1. Mise en contexte

Dans le cadre de notre projet nous sommes missionnés de réaliser une maquette représentative et fonctionnelle dans un cadre pédagogique d'un banc d'essai de fatigue pour le département des essais d'Airbus Helicopters. Ce banc d'essai a été conçu pour le projet CityAirbus NextGen afin de simuler les efforts appliqués sur le moyeu de rotor du prototype. Il a aussi été développé à des fins de certification par Airbus. Bien que ce prototype de taxi volant électrique soit destiné au marché américain principalement, le projet est actuellement suspendu suite aux dernières élections.

Pour réaliser cette maquette nous sommes repartis de la base CAO fourni par Airbus Helicopters et la CAO du groupe d'étudiants B.MIRAD et O.ROUX. Ils avaient simplifié l'ensemble en impression 3D afin de pouvoir le réaliser à un quart en échelle 1/16. Notre objectif était de franchir un cap technique en réalisant cette maquette en métal de façon esthétique.

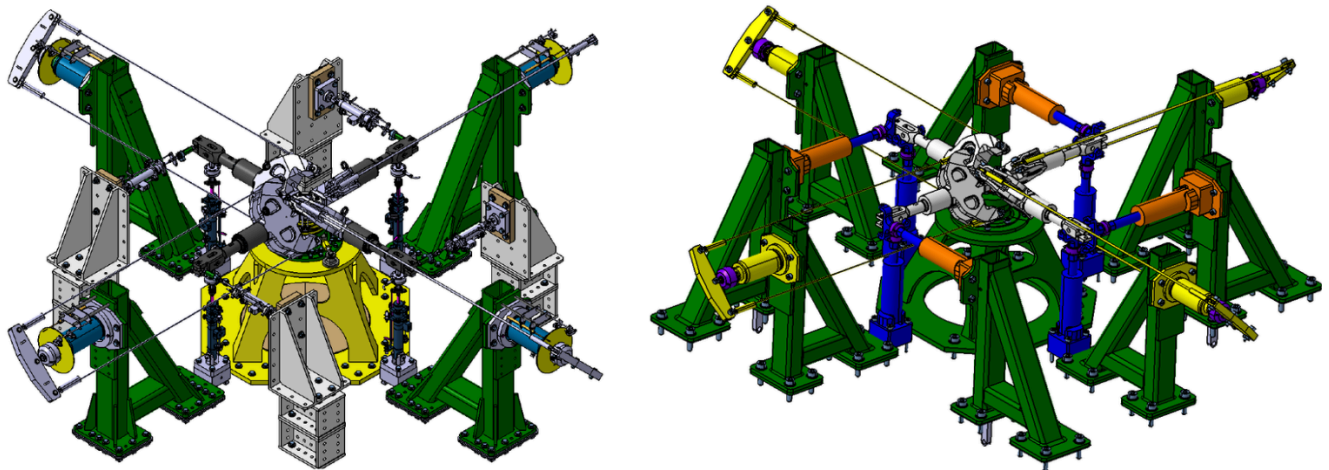


Image 1 : Vues isométriques de la CAO du banc d'essais (Sources : Airbus / CAO de B.MIRAD et de O.ROUX)

Respecter l'échelle 1/16, les contraintes géométriques, et les tolérances fines revient à faire du micro-usinage ce qui demande des machines d'usinage spécifiques et du temps. C'est pourquoi nous devons trouver le processus d'usinage en série le plus adapté pour chaque pièce, afin de réaliser la maquette entière.

Étant une maquette de banc d'essai de fatigue, elle doit reproduire les essais effectués sur l'élément étudié, qui dans notre de cas, est le moyeu de rotor. Sur ce banc d'essai, on mesure les déformations qui sont subies par le moyeu au cours du vol de l'hélicoptère. Pour que cette maquette remplisse son rôle pédagogique, il est impératif de pouvoir piloter les efforts de contrainte appliqués sur le moyeu et

de rendre visibles les déformations mécaniques du système.

Une partie “automatisme” et instrumentation est donc indispensable pour modéliser et quantifier ces déformations à travers des composants électroniques implémentés directement dans la maquette.

2. Problématique

Pour répondre à ces contraintes et concevoir une maquette pédagogique de banc d'essai de fatigue fonctionnelle et représentative, nous avons défini la problématique suivante :

Comment expliquer le fonctionnement d'un banc d'essai de fatigue d'un arbre de rotor à l'aide d'une maquette ?

3. Objectif du projet

Dans la continuité de notre problématique, l'objectif principal de notre projet est de réaliser une maquette du banc d'essai en taille réduite (1/16ème) qui reproduit les fonctions de l'original.

Pour que cette maquette remplisse pleinement son rôle pédagogique et technique, nous devons atteindre trois sous-objectifs majeurs :

- *Pédagogie* : Permettre la compréhension visuelle du fonctionnement du banc d'essai réel.
- *Modélisation* : Simuler et piloter les efforts de contrainte appliqués sur le moyeu de l'hélicoptère.
- *Analyse* : Rendre visibles et quantifiables les déformations mécaniques subies par le système lors des tests.

II/ Analyse, méthodes et gestion de projet

1. Planification de projet

Pour mener à bien ce projet qui mêle plusieurs ressources et compétences dans le temps imparti, nous avons mis en place une gestion de projet basée sur la séparation des tâches, tout en maintenant une organisation et une communication entre membres optimale. Notre groupe, composé de 5 personnes au Semestre 6, s'est divisé en deux pôles d'expertise travaillant en parallèle :

- Pôle Mécanique et Fabrication (3 à 4 personnes) : Cette équipe s'est concentrée sur la conception physique et la production. Ses missions principales comprenaient l'analyse de la CAO originale du banc d'essais, l'adaptation, le dimensionnement, et la reconception des pièces originales (certains composants mécaniques procurés auprès de fournisseurs) pour éviter les collisions (notamment pour le vérin de traînée) et autres anomalies, ainsi que l'usinage complexe et l'assemblage de la structure métallique à l'échelle 1/16ème.

- Pôle Automatisation et Instrumentation (1 à 2 personnes) : Cette équipe a pris en charge l'automatisation et la motorisation de la maquette. Ses tâches englobent la sélection des composants électroniques (carte de contrôle, servomoteurs, jauges de contrainte), l'élaboration d'un schéma électrique, la programmation des flux de contrôle, et la conception de l'interface homme-machine (IHM) sur écran.

Cette répartition des tâches dynamique s'est avérée essentielle : la fabrication matérielle demandait une main d'œuvre très importante, avec la grande quantité de petites pièces à usiner, tandis que la partie automatisation nécessitait un travail de développement très ciblé qui a mobilisé des compétences informatiques et techniques très peu vues dans notre formation. Des points de synchronisation (notamment lors de réunions d'état d'avancement avec notre encadrant industriel) ont permis de s'assurer de certains choix mécaniques et électroniques.

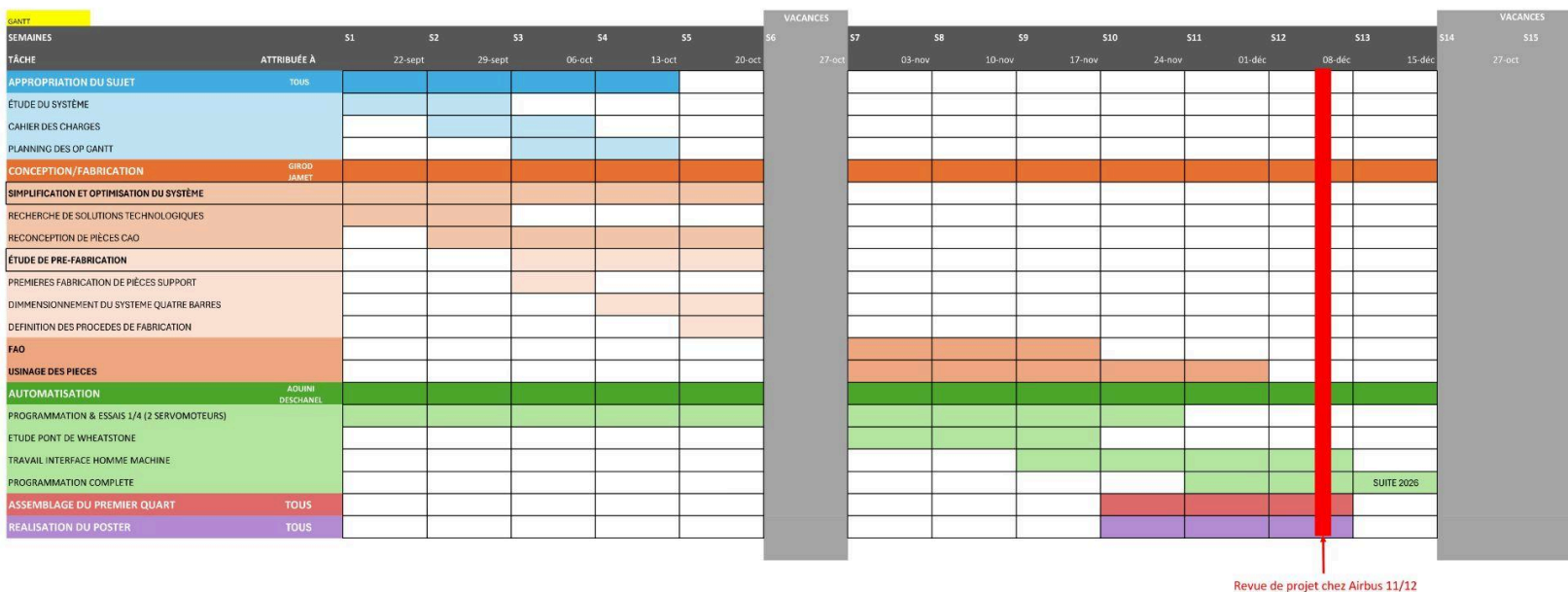


Image 2 : GANTT 2025 : Planning théorique à suivre semestre 5

Malgré que nous ayons réalisé un GANTT pour la fin de l'année 2025 (réalisation du premier quart de la maquette) pour pouvoir nous situer au niveau de l'organisation, nous avons jugé que d'en faire un pour la suite était vain. Cela pour plusieurs raisons. Il a en effet été très compliqué pour nous, voire impossible de suivre un planning avec tous les imprévus qui pouvaient se manifester surtout lors de la fabrication : temps d'usinages sous estimés, disponibilité des professeurs encadrants, problèmes de conception, pièces non conformes,...

Ensuite nous avons trouvé plus simple de nous organiser en fonction de l'importance des pièces, avec la mise au point d'ordres de priorité de conception et de fabrication.

2. Analyse fonctionnelle et Diagramme Pieuvre

Afin de structurer la conception de notre maquette, nous avons modélisé son environnement à l'aide d'un diagramme pieuvre. Celui-ci met en évidence les interactions de la maquette avec son milieu extérieur, définissant ainsi sa fonction principale (FP), sa fonction service (FS), et ses fonctions contraintes (FC).

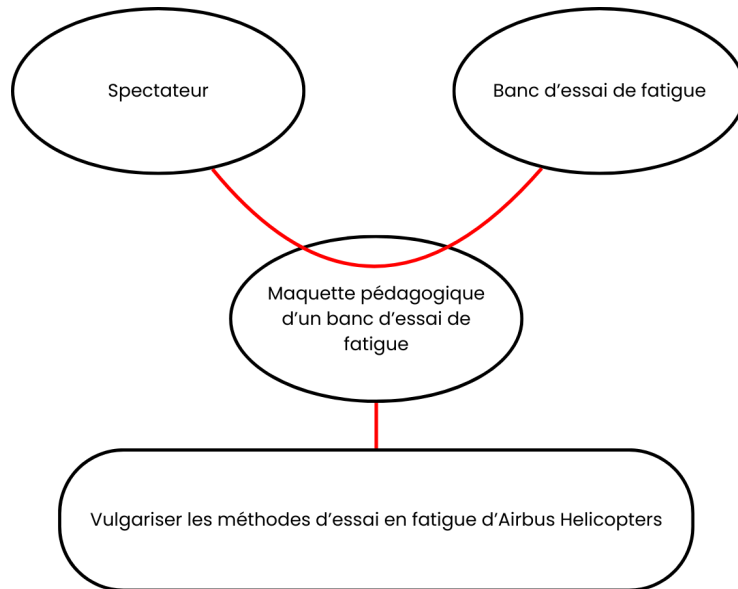


Image 3 : Diagramme bête à cornes

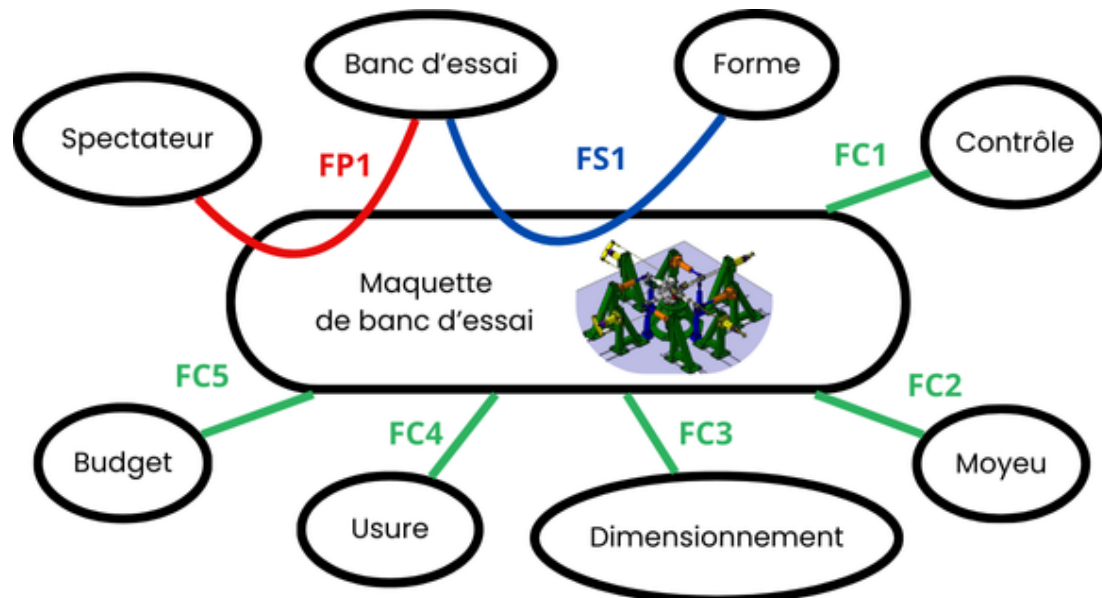


Image 4 : Diagramme pieuvre

Les deux fonctions majeures qui guident l'ensemble du projet sont :

FP1 : Permettre la compréhension du fonctionnement du banc d'essai réel.

FS1 : Rendre visibles les déformations mécaniques du système.

Dans les explications suivantes, les axes (X horizontal, Y vertical, Z horizontal normal à X) sont définis selon $\frac{1}{4}$ de la maquette puisque les quarts sont symétriques et identiques les uns par rapport aux autres.

3. Cahier des charges

À partir de l'analyse fonctionnelle et du travail de nos prédécesseurs, nous avons établi un cahier des charges précis quantifiant chaque fonction. Pour répondre à la problématique pédagogique et technique du projet, les contraintes ont été réparties entre les aspects structurels et l'instrumentation.

Contraintes mécaniques et structurelles :

- *Fidélité physique (FP1)* : La maquette doit comporter 4 fausses pales, un moyeu de rotor et 8 vérins, à l'échelle 1/16ème avec un rendu esthétique.
- *Visualisation (FS1)* : Le système doit permettre d'observer une déformation maximale en bout de pale de 15 mm (tolérance ± 5 mm).
- *Déploiement (FC3)* : Pour être facilement transportable, le volume global est restreint à $500 \times 500 \times 500 \text{ mm}^3$ pour un poids n'excédant pas 14,5 kg.
- *Durabilité (FC4)* : Conçue pour une utilisation mensuelle sur 3 ans, la majorité des éléments doit être usinée en acier ou en matériaux rigides.

Contraintes d'automatisme et d'instrumentation : Pour rendre le banc d'essai pleinement interactif, la maquette doit intégrer une architecture électronique et logicielle performante :

Pilotage des efforts (FC1) : Les efforts de portance et de traînée doivent être actionnés par 8 servomoteurs (1 par force de traînée et 1 par force de portance, pour chaque côté du moyeu). Les consignes d'amplitude ($\text{Amp_Traînée} \leq 4\text{mm}$, $\text{Amp_Portance} \geq 4\text{mm}$) et de déphasage ($0-180^\circ$) doivent être contrôlables via une interface homme-machine tactile (écran monté sur la maquette) simple et intuitive.

Quantification des déformations (FC2) : L'instrumentation doit acquérir les données de déformation physique du moyeu sur trois axes (l'axe Z, Vérin centrifuge, étant optionnel). Cela implique l'implémentation de jauges de contrainte posées sur le moyeu (réparties à 90°), associées à un pont de Wheatstone et un amplificateur pour garantir la précision des mesures.

Voir Annexe 1 pour cahier des charges entier.

4. Schéma cinématique simplifié de 1/4 de la maquette

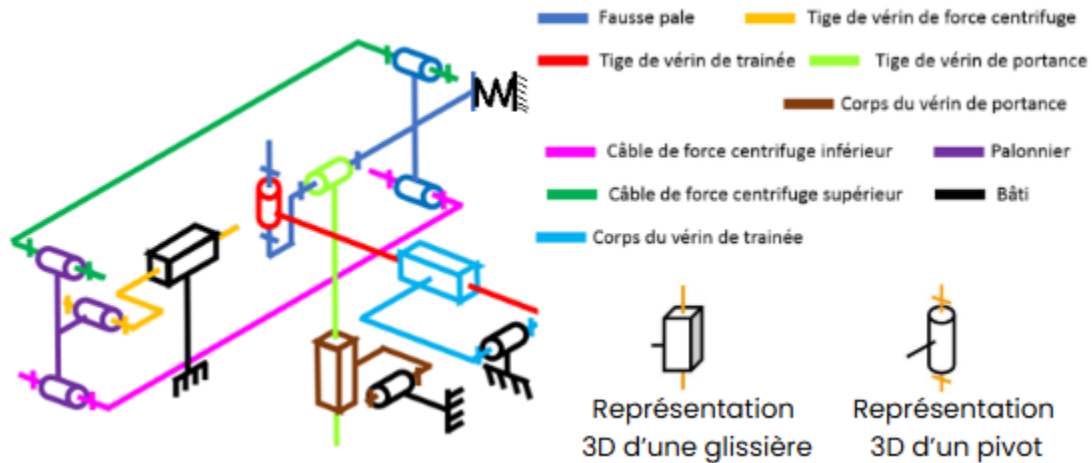


Image 5 : Schéma cinématique d'un quart de la maquette de banc d'essais

Afin de rendre le plus compréhensible la maquette nous avons simplifié le schéma cinématique et avons représenté un seul quart de la maquette puisqu'on a une symétrie du système à 4 pales. La force centrifuge, de portance, et de traînée vont être transmis à la fausse pale. Les servomoteurs sont reliés aux sous-ensembles de représentations de forces de portance et de traînée afin de remplacer des vérins. Nous remplaçons les vérins par des servomoteurs pour des raisons économiques mais aussi par les disponibilités sur le marché. Les liaisons pivots des servomoteurs créent des mouvements linéaires afin de faire pivoter une fausse pale sur un axe vertical et horizontal. La force centrifuge sera quant à elle simulée par un palonnier qui tire sur la fausse pale par des fils tendus en réaction à ses pivotements.

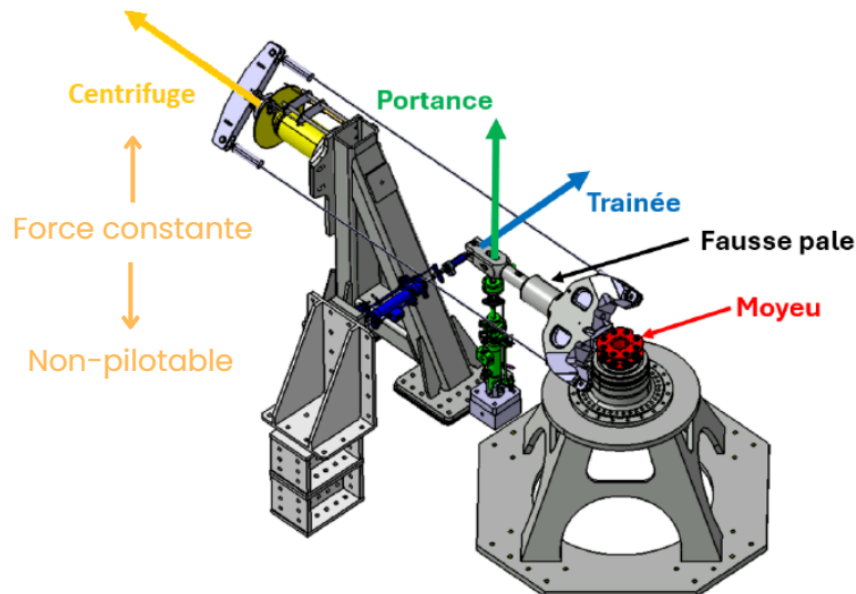


Image 6 : Représentation des forces appliquées sur le moyeu d'un quart de la maquette

III/ Développement et Résultats obtenus

1. Conception

a. Vérin de portance

Le vérin de portance (axe Y) est composé d'un carter en aluminium, d'une tige en STUB, d'une chape en acier et une pièce intermédiaire de liaison au servomoteur. Nous favorisons la présence d'aluminium lorsque des pièces sont en porte à faux dû à son poids plus léger. Aucune de ces pièces n'a pu être achetée et nous avons dû réaliser des chapes sur mesure.

Comparé à la CAO du groupe précédent nous avons séparé la chape et la tige. Afin de les relier nous avons opté pour un premier choix avec une goupille fendue. Cependant ce choix s'est avéré infaisable lors de nos premiers usinages, donc nous avons opté pour un sertissage.

Afin de gagner du temps d'usinage et de respecter les contraintes géométriques et de tolérance, nous avons modifié la forme du carter de vérin au détriment du critère esthétique du cahier des charges.

Nous avons choisi d'utiliser des vis M3 pour la liaison pivot entre la chape et la fausse pale.

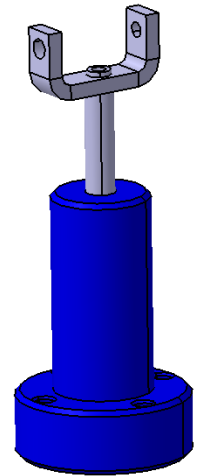


Image 7 : CAO Vue iso vérin de portance

Voir annexe 2 dessin technique

b. Vérin centrifuge

Le vérin centrifuge (axe Z) est composé d'un ensemble de pièces destinées à reproduire le comportement d'écartement des pales qui se produit lorsque le rotor tourne vite. Il a été décidé que la pièce ne serait pas articulée comme les autres vérins car trop complexe à mettre en mouvement pour le résultat attendu. Nous avons donc décidé de le représenter statiquement avec des câbles tendus qui ont été commandés auprès de HPC (fournisseur de composants mécaniques).

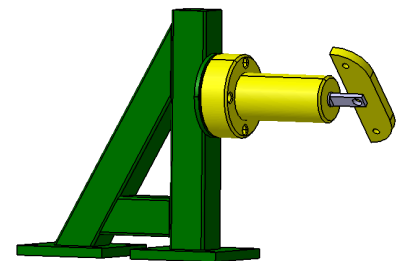


Image 8 : CAO Vue iso vérin centrifuge

La commande effectuée a été de 100 m de câble en acier galvanisé de diamètre $\varnothing 1,5$ mm et d'un lot de 100 manchons pour sertir les câbles en acier. On a 2×4 câbles sur la maquette, chacun pour simuler les forces centrifuges sur le moyeu de rotor. Malgré qu'elles soient plus négligeables que les 2 autres forces, elles travaillent en traction sur un axe différent (axe Z).

Les câbles sont liés au palonnier (annexe Palonnier) et à la fausse pale afin de rester droits pour éviter tous les autres efforts et n'avoir que de la traction pure.

c. Bâti

Le bâti est l'ensemble d'éléments importants de notre système. Il est composé d'une plaque de 600 × 600 mm sur laquelle vont venir se fixer l'intégralité de nos éléments. Celui-ci ne respecte pas le cahier des charges imposant une structure de maximum 500 × 500 mm, mais nous avons été obligés de le modifier avec l'accord de l'industriel en raison du fait que certaines pièces n'étaient pas usinables à l'échelle 1/16^e.

Il est également composé d'une base (**annexe support moyeux**) sur laquelle va venir reposer un support (**annexe coeur_bâti**) servant à maintenir notre pièce à tester, qui est le moyeu (**annexe Moyeux**) équipé de jauges de contrainte pour mesurer les efforts appliqués dessus.

Pour transmettre les différents efforts jusqu'à notre moyeu, la fausse pale (**annexe Fausse pôle 1 et 2**) va venir récupérer les efforts des vérins de traînée, de portance et centrifuge afin de les retransmettre au moyeu pour visualiser les déformations, comme sur le vrai banc d'essai.

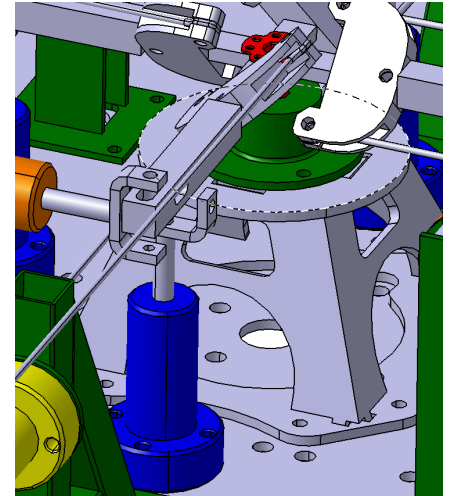


Image 9 : CAO vue iso bâti

d. Vérin de traînée

Le vérin de traînée est composé d'un ensemble de pièces permettant la mise en mouvement linéaire de celui-ci sur l'axe X selon sa position sur la maquette (**annexe Vérin de traînée**). Ce vérin est composé d'un carter, d'une tige et d'une chape comme tous les autres, mais également de pièces permettant de réaliser un renvoi d'angle afin de pousser et de tirer la fausse pale dans la bonne direction, car le servomoteur est caché sous la plaque pour des raisons d'esthétisme. Pour réaliser ce renvoi d'angle, nous avons une pièce faisant office de support (**annexe Support traînée**) pour positionner la tige à la bonne hauteur et pouvoir maintenir le carter servant à guider la tige. Un maillon équipé de 3 pivots (**annexe maillon**) permet de réaliser le renvoi d'angle entre la tige et la bielle, dont un pivot relié au bâti pour permettre le renvoi d'angle. Enfin, une pièce d'adaptation sert à relier le servomoteur à la bielle.

Le problème de ce renvoi d'angle était que l'espace pour le réaliser était étroit. Nous avons donc dû vérifier que, pour une course de vérin de 3 mm de chaque côté, le maillon ne tape ni sur notre support

ni sur notre carter. Pour cela, nous avons réalisé un schéma cinématique de notre vérin de traînée et posé des hypothèses afin de réaliser nos calculs.

Les hypothèses sont que AB et DC ont la même longueur, que A, le centre de notre servomoteur, est aligné avec C, le centre du pivot reliant le maillon et le bâti, et enfin que C et E étant le lien entre la tige et le maillon sont toujours sur la même droite afin de simplifier les calculs en faisant une chaîne cinématique avec une fermeture géométrique.

Nous avons ensuite pu réaliser nos calculs, K étant un point quelconque sur la droite LB, et l'angle de notre support où la distance est la plus petite avec notre maillon (**annexe 3**).

Nous avons donc réalisé notre calcul sur Excel et trouvé que la distance minimale entre la bielle et le carter était de 1,5 mm.

2. Fabrication

a. Vérin de portance

Pour respecter l'échelle de 1/16 nous avons dressé et charioté une tige de STUB Ø6 mm en Ø2,8 mm mais à cette taille la pièce s'est déformé dû au porte à faux en tournage conventionnel. Cette échelle nous complique aussi le processus de contre pointe. Nous sommes donc passés en échelle 1/8 et avons changé de méthode d'assemblage.

Nous avons choisi d'usiner nos 12 carters en tournage CN (CTX300) en 2 phases afin de réaliser une petite série, réaliser 4 pointages séparés de 90°, et assurer notre jeu de 0,3 mm entre la tige et l'alésage du carter.

La chape a été l'une des pièces les plus complexes à réaliser. La chape nous impose une coïncidence avec l'axe de la tige et une contrainte de perpendicularité avec le pivot de liaison au houblon de la fausse pôle. Nous avons usiné la pièce en 5 axes afin de respecter l'esthétisme de la pièce et ses contraintes, cependant cette méthode demande du temps et est sur mesurée pour le sertissage avec la tige. Une alternative à cette méthode aurait été de la réaliser en tournage CN (Somab 450 / CTX300) et en fraisage conventionnel. Nous avons essayé de réaliser nos chapes en pliage au détriment des contraintes mais leur taille complexifie le procédé. Notre choix final a été de découper plusieurs pièces sur un profilé en U, de pointer et percer nos chapes avec des cales afin de bloquer la déformation.



Image 10 : Carter vérin / Chape version 1 / Chape version 3

b. Vérin centrifuge

Pour la réalisation du support (**annexe Support inertie**), nous avons décidé de découper un tube carré en trois morceaux afin de constituer la structure de l'équerre. Nous avons ensuite fixé trois tôles

cisillées : deux pour l'assemblage avec le bâti et une pour assurer la liaison de fixation avec le vérin. La première étape a consisté à couper le profilé et les plaques. Ensuite, nous avons procédé au perçage des pièces avant de les souder par pointage. Nous avons opté pour cette solution, car le système n'est soumis qu'à de faibles efforts, et réaliser un cordon court donné un résultat inesthétique et demandé un long meulage. Nous avons réalisé une cale de fixation pour le soudage afin de veiller au positionnement des profilés et au risque de déformation. Enfin, nous avons sablé les pièces pour éliminer l'aspect brut et les traces laissées par la meuleuse.

c. *Bâti*

La première pièce réalisée a été le moyeu du bâti. Il a fallu le réimprimer à l'échelle 1/16^e en TPU par FDM, car l'original de l'année précédente était trop endommagé. Cependant, la souplesse excessive du TPU, combinée à un état de surface irrégulier et inadéquat (stries dues au procédé, *stringing*, aspect fondu), a rendu impossible le collage des jauges de contrainte.

Nous nous sommes alors orientés vers la deuxième option, plus prometteuse et déjà envisagée dans le cahier des charges : le passage à un moyeu en résine standard par procédé SLA, le laboratoire ne disposant pas de résine souple, cette dernière étant bien plus appropriée dans notre cas. Bien que cela ait permis une nette amélioration, notamment pour le collage, cette pièce s'est avérée trop rigide et cassante, ce qui est mauvais pour la mesure précise des déformations.

Puis nous avons réalisé la plaque sur laquelle venaient se positionner tous nos éléments. Cette pièce, au vu de ses dimensions, a été particulièrement compliquée à usiner car nous avons énormément de trous à percer. Tous les trous devaient être positionnés précisément pour pouvoir aligner nos pièces et que toute la maquette s'assemble correctement sans avoir à faire des trous oblongs, ce qui aurait complexifié la pièce. Premièrement nous avons monté la plaque sur la VX10 afin de la pointer. Malgré la FAO nous n'avons pas pu percer notre plaque car nous ne possédions pas un martyr assez grand pour protéger la table de la machine.

Pour la pièce servant de base au cœur du bâti, elle devait tout d'abord rester en plastique au vu de sa géométrie qui la rendait trop longue et complexe à usiner à l'atelier. Après la réunion avec Airbus Helicopters on nous a proposé de découper les différentes parties de la pièce chez Profiljet, qui est spécialisée dans la découpe au jet d'eau. Cela nous permet de seulement réaliser, les chanfreins nécessaires à l'assemblage et le soudage au MAG à l'IUT.

Pour la pièce maintenant le moyeu, nous avons d'abord réalisé sa géométrie et ses perçages excentrés. Afin de pouvoir monter le moyeu, nous avons coupé la pièce en deux. Pour que la coupe soit nette et que le perçage central ne devienne pas ovale avec un enlèvement important de matière à la scie KASTO, nous avons décidé d'utiliser l'électroérosion.

La pièce la plus complexe à réaliser dans ce sous-ensemble a été la fausse pâle, car la pièce Airbus, en raison de sa grande taille, comportait des opérations d'enlèvement de matière pour l'alléger, rendant la pièce très complexe. De plus, une partie importante de la pièce était positionnée à 45° par rapport au

reste de la pièce. Pour ce faire, nous avons décidé de simplifier la géométrie et de réaliser la pièce en deux parties afin de faciliter son usinage. La première étape de la fabrication a consisté en un fraisage 5 axes sur la machine Supersonic 20. Cela a permis de réaliser une surface inclinée à 45° par rapport au reste de la pièce. Ensuite, les opérations suivantes ont été réalisées, à savoir l'usinage des rainures et la réalisation de plusieurs perçages. La deuxième étape a impliqué l'utilisation d'une barre carrée de 10 mm de côté, déjà découpée aux bonnes dimensions. À partir de cette barre, un téton a été formé par usinage en tournage. Puis, un perçage a été effectué à l'intérieur de ce téton, suivi de la création de deux trous oblongs par fraisage numérique. Essentiellement, la première partie se concentre sur des opérations complexes de fraisage 5 axes, tandis que la deuxième repose sur des opérations plus simples avec un usinage en tournage et fraisage numérique pour former les éléments spécifiques.

Pour la réalisation du support (**annexe Support moyeux**) nous avons choisi d'assembler plusieurs tôles pour réaliser la pièce. Une tôle d'interface avec le bâti une autre avec la pièce de maintien du moyeu tandis que 4 autres tôles permettent de constituer la structure. La première étape a été de découper les différentes tôles pour la structure nous avons choisi d'utiliser l'électro érosion par fil ça nous permettait d'obtenir les dépouilles à 45° sur les flancs des pièces. Pour l'assemblage nous avons choisi de réaliser des cordons de soudure ce choix s'explique davantage par une volonté esthétique que par un besoin de résistance mécanique. Lors du soudage il a fallu veiller au positionnement des tôles et au risque de déformation.

d. Vérin de traînée

Le vérin de traînée se compose d'un carter, d'une tige et d'une chape comme les deux autres ensembles, mais possède en plus un système de renvoi d'angle pour réaliser le mouvement associé au vérin en raison de l'étroitesse dans laquelle vient se faire le montage. Cela a rendu l'usinage des pièces très compliqué car elles sont très petites afin d'éviter qu'elles ne cognent avec la poutre de fixation.

La bielle est réalisée avec une tôle cisailée à laquelle on a percé 2 trous puis arrondi les bords au tank. Le support en T a été soudée au mag puis pour réaliser la liaison entre le bâti et le maillon. Un support a été vissé directement sur le bâti pour éviter de la déformé lors du soudage ce qui aurait enlevé la concentricité des perçages.

Le maillon a été usiné car le précédent ne convenait pas et complexifie la pièce. On a donc décidé de prendre 2 tôles qui serviront de bord à notre maillon. Puis sur chacune des 2 tôle 2 trous seront percée afin de sertir 2 tiges comme un vrai maillon et un trou excentré servira a réalisé le raccord entre le maillon et le bâti.

Pour la réalisation du support (**annexe Support traînée**), nous avons décidé de découper un profilé en U, puis de le souder à deux plaques. Une permet l'assemblage avec le bâti, l'autre permet l'assemblage avec le vérin. La première étape a consisté à couper le profilé ainsi que les plaques. Deuxièmement, nous avons procédé au perçage des pièces, avant de les souder par pointage. Nous avons choisi de souder par points car le système n'est pas soumis qu'à de faibles efforts. Lors du

soudage, il a fallu veiller au positionnement précis du profilé sur la tôle et au risque de déformation. Certains points de soudure ont été retirés à la meuleuse pour être repris et ressoudés. Il a également fallu modifier le lieu des pointages de la tôle assurant l'assemblage avec le vérin car dans leur position d'origine il finissait par empêcher le montage des vis. Enfin, la dernière étape a consisté à sabler la pièce pour éliminer son aspect brut et les traces laissées par la meuleuse.

3. Automatisation et instrumentation

L'objectif principal pour l'équipe automatisation était de rendre la maquette pilotable afin de remplir la fonction première de la maquette qui est pédagogique ; rendre compréhensible le fonctionnement du banc d'essai réel.

L'automatisation s'est déclinée en deux parties majeures, le pilotage et l'acquisition.

a. Pilotage

À cette fin, il fallait utiliser un servomoteur, relié à sa fausse pôle respective par des vérins, pour chaque effort de traînée et de portance, cela en fait 8 au total. Afin de respecter le cahier des charges et se rapprocher au plus de la réalité, il fallait prendre en compte le déphasage de 90° entre les servomoteurs de portance et traînée.

Pour se faire, une liste de matériel précise a dû être mise au point, on parle ici du Hardware.

Au niveau du contrôle de la maquette, on a récupéré une carte raspberry pi 5, puissante et capable au même titre qu'un ordinateur, de faire tourner des programmes complexes, c'est le cerveau, le centre de contrôle de notre maquette.

Pour l'interface homme machine on a pris un écran 7 pouces et bien sûr pour la mise en action, 8 servomoteurs FeeTech situés sous le bâti (partie cachée). Pour faciliter le branchement avec les fils, on a décidé d'utiliser une breadboard. Il fallait faire attention au branchement des câbles, c'est-à-dire les associer aux bons pins de la carte Raspberry pi 5 (exemple image 17).

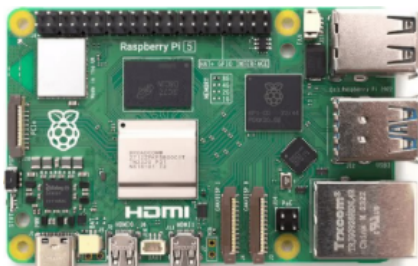


Image 11 : Carte Raspberry pi 5



Image 12 : Servomoteur FeeTech

Au niveau de la programmation, donc du Software, on est passé par Node-RED, logiciel de programmation par flux, pour donner un aspect visuel plus compréhensible à notre programmation. C'est là que le déphasage, la fréquence et l'amplitude de rotation des servomoteurs ont été codés pour pouvoir être pilotés par l'utilisateur directement sur l'écran. Il est inutile de préciser qu'il est possible

d'allumer et d'éteindre les servomoteurs avec des boutons tactiles on/off. La fonction bloc *fonction 2* (image 13) assure le déphasage de 90° entre le servomoteur de traînée et le servomoteur de portance.

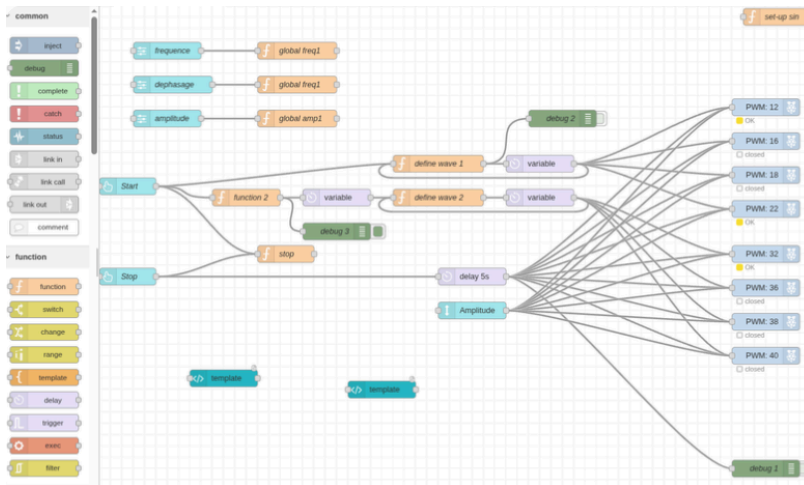


Image 13 : Programmation par construction de flux (Les PWM tout à droite représentent les 8 servomoteurs)

```
1 if (global.get('frequency1') !== undefined) {
2   var frequency = global.get('frequency1');
3 } else { frequency = 0 }
4
5 if (global.get('amplitude1') !== undefined) {
6   var amplitude = global.get('amplitude1');
7 } else { amplitude = 0 }
8
9 if (global.get('marcheServo1') !== undefined) {
10  var marche = global.get('marcheServo1')
11 } else { marche = false }
12
13
14
15 if (msg.period == undefined) {
16   var period = 1;
17 } else { period = Math.abs(1 - msg.period) }
18
19
20
21 if (marche && amplitude !== 0 && frequency !== 0) {
22   var deplacement_servo = 9.5 / 10 * amplitude * period + 3
23   msg.payload = deplacement_servo;
24   msg.period = period;
25   msg.delay = 1 / frequency / 2 * 1000
26   return msg;
27 }
28
```

Image 14 : Code du bloc fonction des Servomoteurs (define wave)

Le langage de programmation utilisé est Javascript. La majorité des lignes de code ont été écrites grâce à des boucles *if(...)**else(...)*. Dans ce système à flux, chaque bloc de code devait prendre des données d'entrée, comme l'amplitude et la fréquence, et les transformer en données de sortie (*msg.*), comme les déplacements ou délais des servomoteurs, grâce à l'instruction *return msg* (ligne 26). Sur l'image 14, pour le déplacement des servomoteurs, on a dû linéariser de façon empirique la formule initiale $\sin(\frac{\Delta t}{1000} \times 2\pi \times frequency)$ pour obtenir un résultat équivalent (passage d'un signal sinusoïdal à un signal en créneaux ou carrés), car utiliser la fonction sinus rendait le mouvement des servomoteurs saccadé (un vrai sinus fluide implique d'envoyer des dizaines de minuscules variations d'angles par seconde au servomoteur). Si ce choix permet d'obtenir un balayage fluide et fiable aux fréquences demandées, il modifie le profil d'accélération des efforts appliqués sur le moyeu (mouvement plus brusque).

Notre nouvelle approche a donné la formule $0,95 \times amplitude \times period + 3$ (ligne 22), le servomoteur bascule donc entre deux valeurs fixes. La variable *period* fonctionne donc comme un "interrupteur" binaire et non comme une période temporelle. Quand *period* = 0, on est en position basse (position = 3). Quand *period* = 1, on est en position haute (position = 0,95*amplitude+3).

L'Interface Homme-Machine (IHM) développée dans le cadre de ce projet constitue l'élément central du pilotage. Conçue sous l'environnement Node-RED, elle a été structurée de manière ergonomique et intuitive pour répondre aux critères du cahier des charges.

Tout d'abord, une page d'introduction permet de situer le contexte du projet, de présenter les objectifs visés et de décrire le système mécanique étudié.

Ensuite, une page de réglage offre à l'opérateur un contrôle total sur les paramètres de simulation. C'est ici que sont définies l'amplitude et la fréquence d'oscillation du servomoteur, permettant ainsi de générer le mouvement précis du vérin grâce à une logique de calcul intégrée.

Enfin, une page dédiée au relevé de données assure le suivi de déformation de l'essai de fatigue. Elle centralise les mesures effectuées par les capteurs, permettant d'analyser en temps réel les efforts subis par la structure lors des cycles de test. Cette organisation permet de faire la différence entre la configuration théorique et l'analyse expérimentale, tout en assurant une surveillance du comportement mécanique du système.

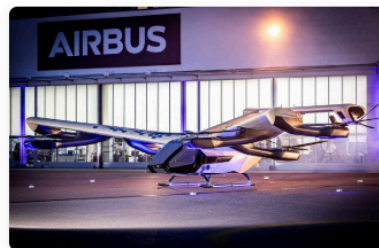
☰ Accueil

MAQUETTE PÉDAGOGIQUE DU BANC D'ESSAI DE FATIGUE D'UN MOYEU

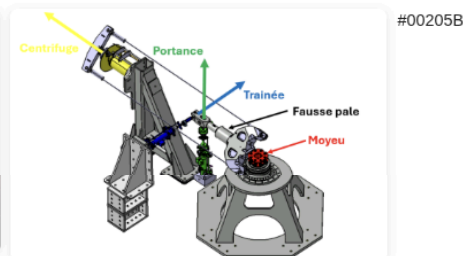
Contexte du projet : qualification d'un taxi volant

Airbus Helicopters développe un nouvel aéronef : le **CityAirbus NextGen**. Pour cela, un banc d'essai de fatigue a été conçu et fabriqué par des étudiants en BUT GMP à l'IUT d'aix-en-Provence. Cette maquette vous permet de visualiser les efforts appliqués sur le moyeu.

Vous pourrez piloter la **force de portance** et la **force de trainée** depuis la page « Réglages » du menu.



Vue du CityAirbus NextGen



Efforts appliqués sur le moyeu

Étudiants: Automatisation: M.AOUINI, M.DESCHANEL — Fabrication: M.GIROD, M.JAMET
Réfèrent pédagogique: M.TADRIST — Réfèrent industriel: M.JAUFFRET



Image 16 : Page de réglage et d'acquisition de donnée

b. Acquisition

Dans un second temps, il fallait pouvoir récupérer les données mesurées sur le moyeu de rotor sous la forme de déformations causées par les efforts mécaniques appliqués sur la pièce. Pour l'installation de jauges de contrainte entre la collerette inférieure et la collerette intermédiaire de la pièce, nos choix ont évolué au cours du temps en fonction de leur faisabilité. Notre volonté initiale était de coller deux jauges de contraintes par fausse pale, 8 au total, une sur l'axe vertical Y (effort de portance) et une sur l'axe horizontal X (effort de traînée) afin de mesurer fidèlement les déformations sur chaque côté. Au vu de la très petite taille du moyeu, nous avons ensuite décidé de poser une unique jauge de contrainte sur l'axe vertical et une autre sur l'axe horizontal. Finalement, par la difficulté de la tâche nous avons décidé de ne poser qu'une seule jauge de contrainte, sur le moyeu, sur l'axe vertical suivant les efforts de portance pour mesurer les déformations.

Concernant la partie matérielle (hardware), nous avons utilisé des résistances pour former un pont de Wheatstone avec la jauge de contrainte linéaire de 120Ω . Cette configuration de pont est cruciale car elle permet de convertir les variations de résistance de la jauge de contrainte en variations de tension mesurables. Un amplificateur AD620 a ensuite été nécessaire pour amplifier ces signaux de tension afin de les rendre exploitables et visibles sur l'écran.

Le code ci-dessous (image 17) convertit d'abord la valeur numérique brute de la jauge de contrainte en tension (Volts) en la multipliant par la résolution du capteur ($0,1875\text{ mV}$) puis en la divisant par 1000. Ensuite, une tare empirique de $0,18\text{ V}$ est soustraite pour annuler la tension de repos du pont de Wheatstone à vide. Enfin, le résultat est mis à l'échelle via un multiplicateur de 100 et mathématiquement arrondi à trois décimales, garantissant ainsi un affichage stable et précis des déformations sur l'interface graphique de notre IHM.

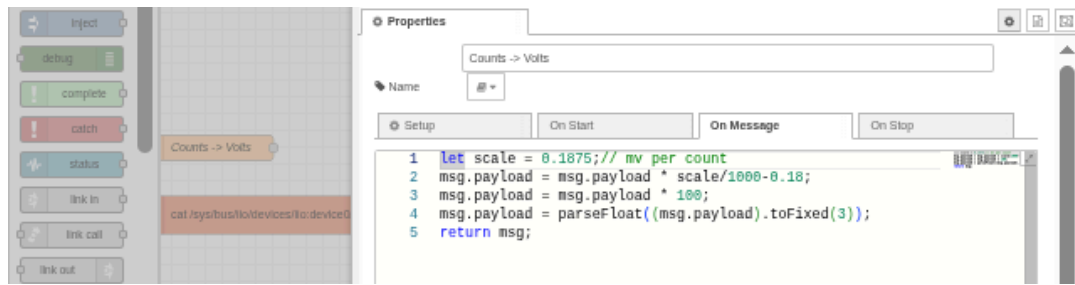


Image 17 : Traitement et calibration des signaux d'acquisition

De plus, un second flux a été développé dans Node-RED (Image 19), spécifiquement pour les jauges extensométriques, afin d'afficher en temps réel sur l'écran un graphique représentant l'intensité de la déformation.

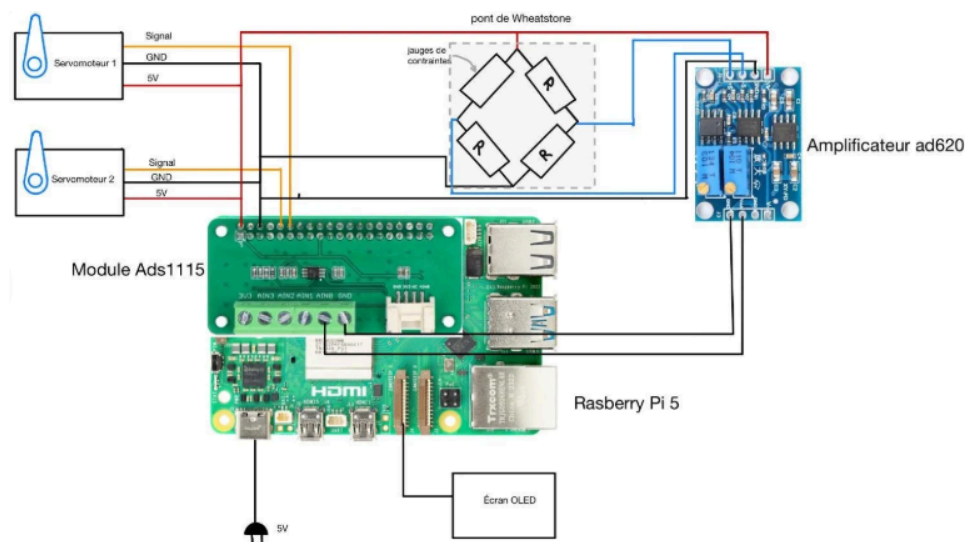


Image 18 : Schéma électrique 1/4 de maquette

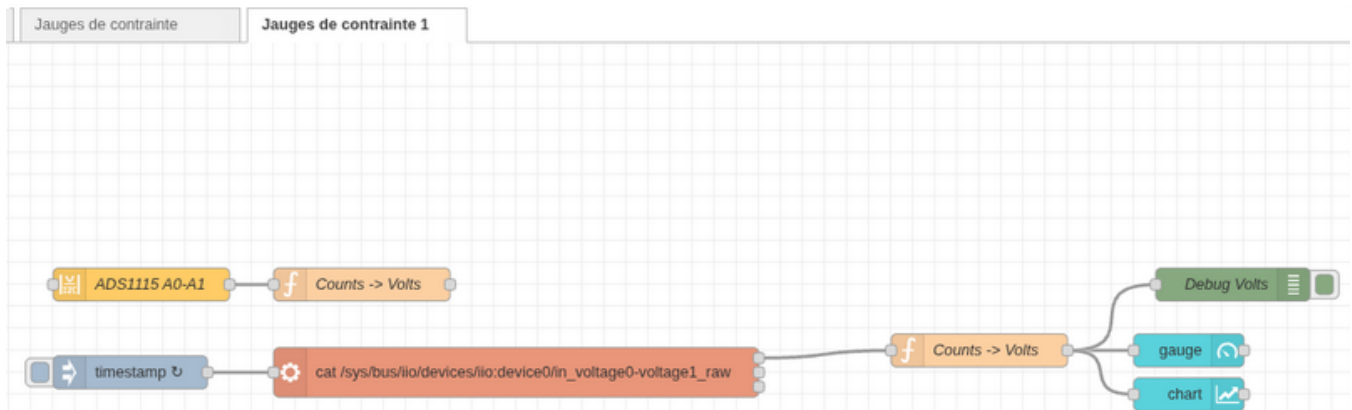


Image 19 : Construction du flux des jauges extensométriques

Un problème technique majeur a été rencontré au niveau du collage et du raccordement de la jauge de contrainte sur le moyeu. La miniaturisation du moyeu a imposé la sélection d'une jauge de contrainte très petite, mesurant moins d'un centimètre de longueur. Le collage de la jauge, réalisé avec un adhésif puissant, nécessitait donc une très grande précision et une habileté importante.

De plus, le branchement des fils au fer à souder était la deuxième tâche très problématique car souder à l'étain sur une très petite surface (cosses de la jauge de contrainte) sur un support cylindrique (forme du moyeu) était un travail très exigeant. En effet le métal en fusion adhérait très peu sur une si petite surface, dont le substrat en polyimide de la jauge extensométrique. Les fils se détachaient simplement de la soudure sans grand effort.

On ne possédait ni l'expertise ni l'équipement nécessaire pour effectuer cette étape cruciale au projet. Un soudage précis par point avec une loupe aurait été préférable.



Image 20 : Tentative d'installation d'une jauge de contrainte sur le moyeu en résine.
Collage réussi (un des trois réussis) mais le soudage des fils sur le moyeu a été un échec.

Dans ce cas, la cosse de droite de la jauge s'est désintégrée sous l'effet de la chaleur du fer à souder.

4. Assemblage

Résultat 1/4 maquette premier semestre (S5) :

- Représentation du vérin d'inertie
- Représentation du vérin de trainée
- Représentation du vérin de portance
- Fausse pale
- Moyeu

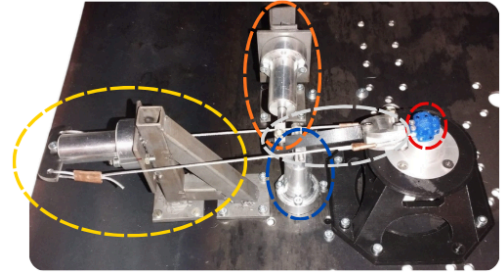


Image 21 : Quart de la maquette assemblée

Résultat second semestre (S6):

N'ayant pas eu le temps de finir certaines pièces nécessaires à la maquette nous n'avons pas pu la monter toutefois une notice de montage (**annexe 4**) a été réalisée pour que l'industriel puisse la monter soi-même une fois toutes les pièces en sa possession. De plus, toutes les pièces devront être peintes pour bien définir les éléments à regarder sauf les tiges qui en raison de leur mouvement risquent de faire craqueler la peinture et de gêner le mouvement.

IV/ Bilan du projet

1. Retour critique sur le projet

a. Conception et Fabrication

D'un point de vue de conception, la CAO que nous avons récupéré de l'année dernière n'était pas usinable en grande majorité. Cela nous a obligé de simplifier certaines pièces et d'autres ont vu leurs dimensions augmentées car non usinables au vu de leur taille. De plus un défi majeur de la conception a été la recherche de la solution pour le renvoi d'angle du vérin de trainée car nous étions contraint par le profil en U qui possède un espace intérieur très limité pas plus de 20 mm. Une fois la CAO finie et améliorée avec les retours fait par Airbus au 1er semestre, nous avons pu lancer les différentes pièces finales, mais en raison de nombreux problèmes, l'usinage n'a pu aboutir avant la fin du second semestre. Les raisons sont que nous avons sous-estimé le temps d'usinage de certaines pièces. Par ailleurs, nous nous sommes rendus compte trop tard des limites de certaines machines, notamment pour le pivot bâti/maillon du vérin de trainée. Lors de la réalisation de sa gamme sur la plieuse CN, une erreur est apparue car l'espace entre les deux plaques était trop étroit pour permettre le pliage.

Il aurait été aussi plus judicieux que tous les membres du projet participent d'abord à la conception et à

la fabrication de la maquette après le cinquième semestre, et qu'ils travaillent ensuite sur l'automatisation .

b. Automatisation

D'un point de vue automatisation, le projet a été formateur, particulièrement sur les phases de programmation logicielle et de sélection technique de composants. Le choix de notre architecture s'est avéré pertinent : l'utilisation de la carte Raspberry Pi 5 couplée à Node-RED a permis de développer efficacement le programme de contrôle des servomoteurs et la conception de l'interface homme-machine sur écran 7 pouces a pu être menée à bien.

Cependant, il est important de noter que l'intégration de l'électronique embarquée au sein même de la maquette n'a pas encore été réalisée. À ce stade, notre architecture fonctionne sous forme de prototype externe. Le défi principal de cette intégration ne réside pas dans l'encombrement des cartes électroniques (celles-ci étant destinées à être fixées dans un coin du support de la maquette), mais dans le routage du câblage. En effet, la jauge de contrainte doit être collée directement sur le moyeu, qui est la pièce centrale subissant les déformations. Il est donc nécessaire de tirer de longs fils fins depuis cette zone mobile jusqu'au pont de Wheatstone, et au module amplificateur situés sur le bâti. Sur une structure à l'échelle 1/16ème, faire cheminer les câbles de manière esthétique, sans qu'ils n'entravent les mouvements mécaniques est un sérieux défi technique. Si nous devons recommencer, nous aurions intégré le passage des faisceaux de câbles directement dans l'étude CAO initiale.

Pour ce qui est du contrôle du déplacement des servomoteurs, dans une future itération, l'ajout d'un microcontrôleur temps-réel dédié (type Arduino ou carte de contrôle PWM spécifique) entre la Raspberry Pi et les servomoteurs permettrait de retrouver un profil d'effort purement sinusoïdal ce qui améliorerait la précision des déplacements.

2. Conclusion

L'objectif de ce projet était de concevoir et réaliser une maquette pédagogique fonctionnelle à l'échelle 1/16ème du banc d'essai de fatigue du CityAirbus NextGen. Ce défi technique, au croisement de la mécanique, du micro-usinage et de l'automatisation, nous a confronté aux réalités industrielles.

Aujourd'hui, nous avons validé une version finale de la CAO complète et usiné la majeure partie de la structure physique en métal. Du côté de l'automatisation, le socle matériel et logiciel permettant de piloter les efforts est totalement opérationnel et la partie acquisition des données est prête à recevoir un capteur (jauge de contrainte) pour un affichage de la déformation de moyeu sur écran. L'interface homme-machine a aussi été améliorée avec succès, offrant un pilotage intuitif. Bien que l'implémentation physique de l'électronique reste à finaliser, les bases posées par nos deux pôles sont solides et valident la grande majorité de nos choix de conception.

3. Perspectives

Pour aboutir à une maquette totalement fidèle et prête à l'emploi, nos perspectives pour la suite du projet sont les suivantes :

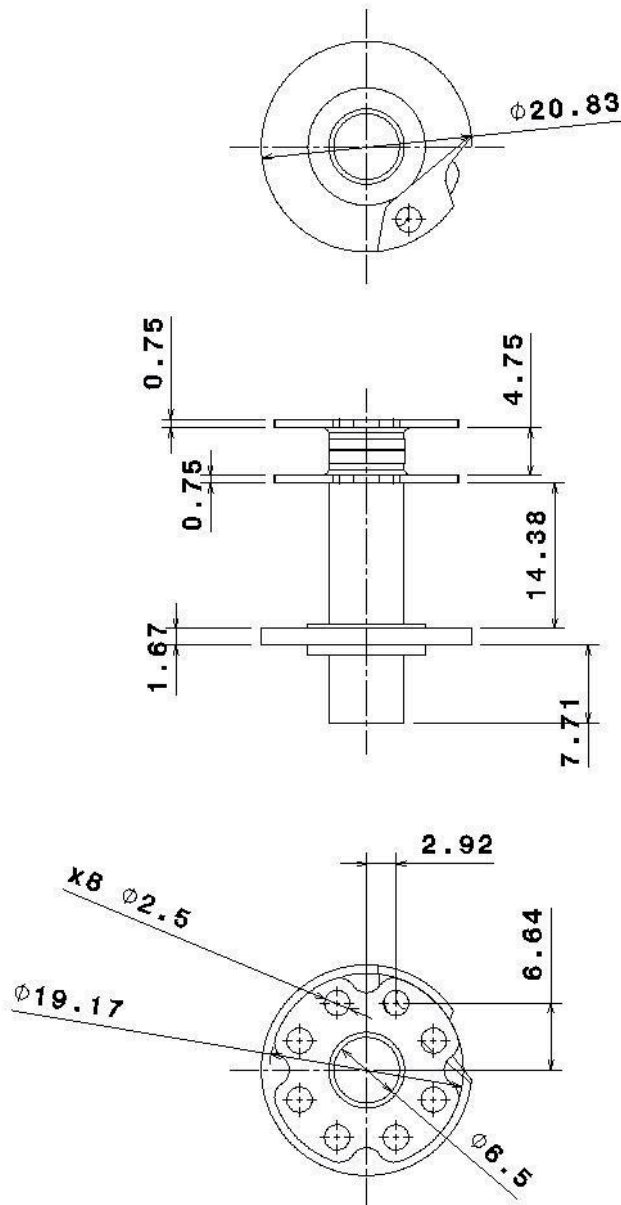
- Usinage des pièces restantes :
 - 12 tiges (4 vérins de trainé, 4 vérins de portance, 4 vérins centrifuge)
 - 4 fause pale
 - 4 mécanisme de renvoie d'angle (maillon et plaque de soutien)
 - Le chanfreinage puis pliage dès 4 angles de la tôle
- Assemblage final de la structure : Une grande partie des pièces des quatre quarts étant fabriquée, la prochaine étape consistera à assembler l'intégralité du système mécanique.
- Installation de la jauge de contrainte : Réussir à coller la jauge extensométrique et à y souder les fils de raccordement sans l'endommager, sur le moyeu miniaturisé.
- Intégration électronique : Implémenter toute l'électronique sur le support de la maquette et réaliser le routage complexe des câbles (notamment les longs fils reliant la jauge du moyeu au centre électronique) pour garantir la fiabilité des mesures.
- Peinture et finitions pédagogiques : Appliquer un code couleur en peignant les différents composants de la maquette. Cette étape est cruciale pour l'aspect pédagogique, car elle permettra aux futurs utilisateurs (spectateurs ou étudiants) d'identifier facilement chaque sous-système.

V/ Annexes

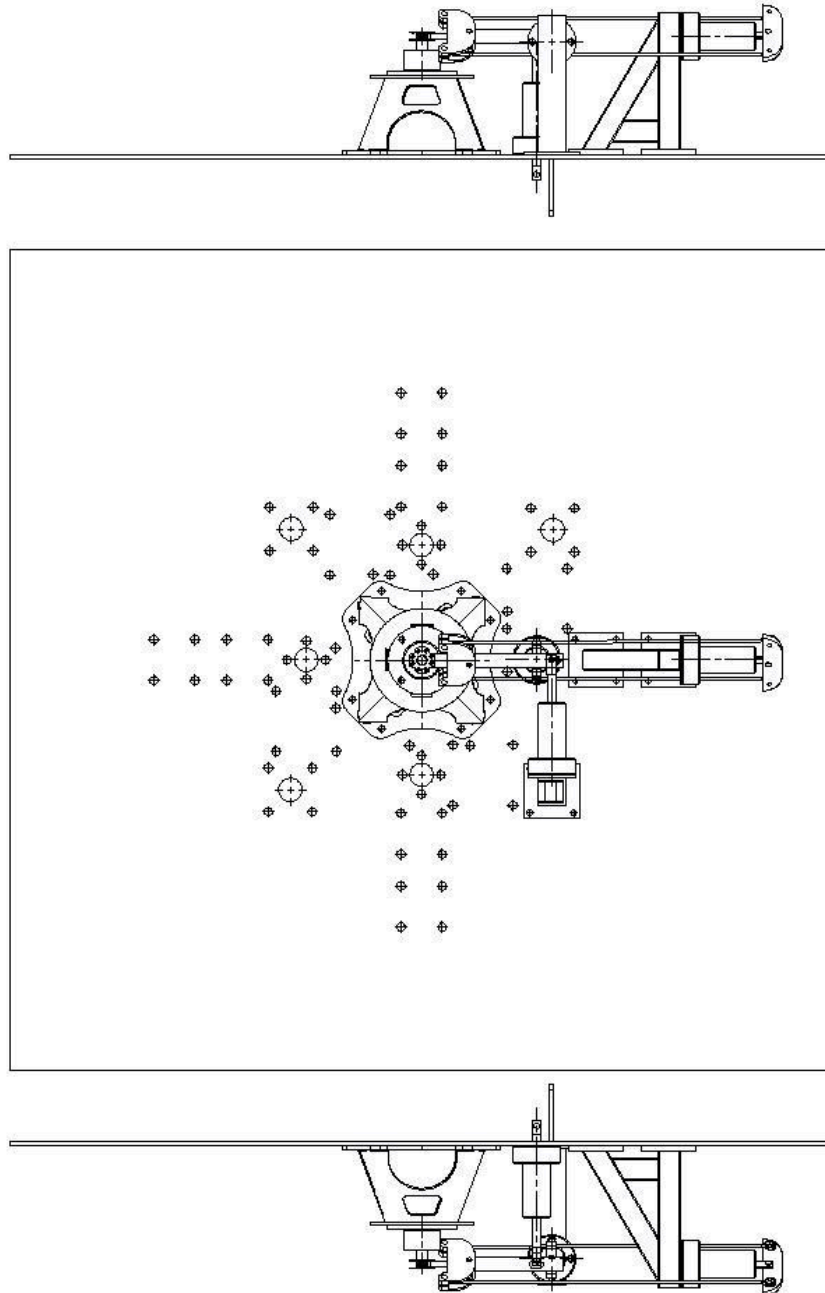
Annexe 1 : Cahier Des Charges

N°	Fonction	Valeur	Critère	Niveau	Flexibilité	Contrôle
FP1	Permettre la compréhension du fonctionnement du banc d'essai réel.	★★ ★★	La maquette doit être robuste et rester fidèle aux caractéristiques physiques et aux résultats du banc d'essai réel.	4 fausses pales, moyeu de rotor , 8 vérins, échelle 1/16ème 3 efforts de contrainte physiques représentés: traînée, portance, force centrifuge. Esthétisme.	NS	Comparaison avec banc d'essai réel.
FS1	Rendre visibles les déformations mécaniques du système : fausses pales et moyeu.	★★ ★	La maquette doit permettre de visualiser les déformations du système.	Déformation maximale en bout de pale de 15 mm, oscillation autour d'une déformation initiale.	±5 mm	Contrôle visuel.
FC1	Piloter les efforts de contrainte appliqués sur le moyeu.	★★ ★	Interface homme-machine tactile simple et intuitive à utiliser. 8 Servomoteurs : 2 par côté de moyeu (4) (1 par force de traînée + 1 par force de portance).	Écran tactile pouvant être monté sur la maquette. - 0,55 Hz pour la fréquence d'oscillation - Amplitude de portance ($\Delta Portance \geq \Delta Trainée$) - Amplitude de traînée ($\Delta Trainée \leq 4$ mm) - Déphasage entre traînée et portance 0 - 180° - Rotation de l'effort 360° - Fréquence de rotation 198°/s	NS ±0,45 Hz ±2 mm ±1 mm ±10° NS ±162°/s	Test fonctionnel de l'interface et vérification des consignes (fréquence/amplitude) par mesures.
FC2	Quantifier la déformation du moyeu.	★★	Les signaux relevés à l'aide des jauges extensométriques doivent correspondre à la déformation physique du moyeu.	Mesure des déformations du moyeu sur trois axes par rapport à la position des quatre pales espacées de 90°	Axe Z optionnel	Jauges de contrainte posés sur le moyeu + Pont de Wheatstone + amplificateur
FC3	Transporter et déployer la maquette facilement et rapidement.	★★	La maquette doit avoir un volume et une masse limitées.	500*500*500 mm ³ ≤14,5 kg	±50mm / côté ±0,5kg	Mesure dimensionnelle (mètre) et pesée (balance).
FC4	Avoir une longévité adéquate.	★	Durée de vie. Matériaux adaptés en fonction des parties. Majorité des éléments en matériaux rigides (usinage).	3 ans, 1 utilisation/mois TPU/Résine Acier	±1 an NS NS	NS
FC5	Respecter un budget limité.	★	La maquette doit avoir un coût limité.	NS	NS	NS

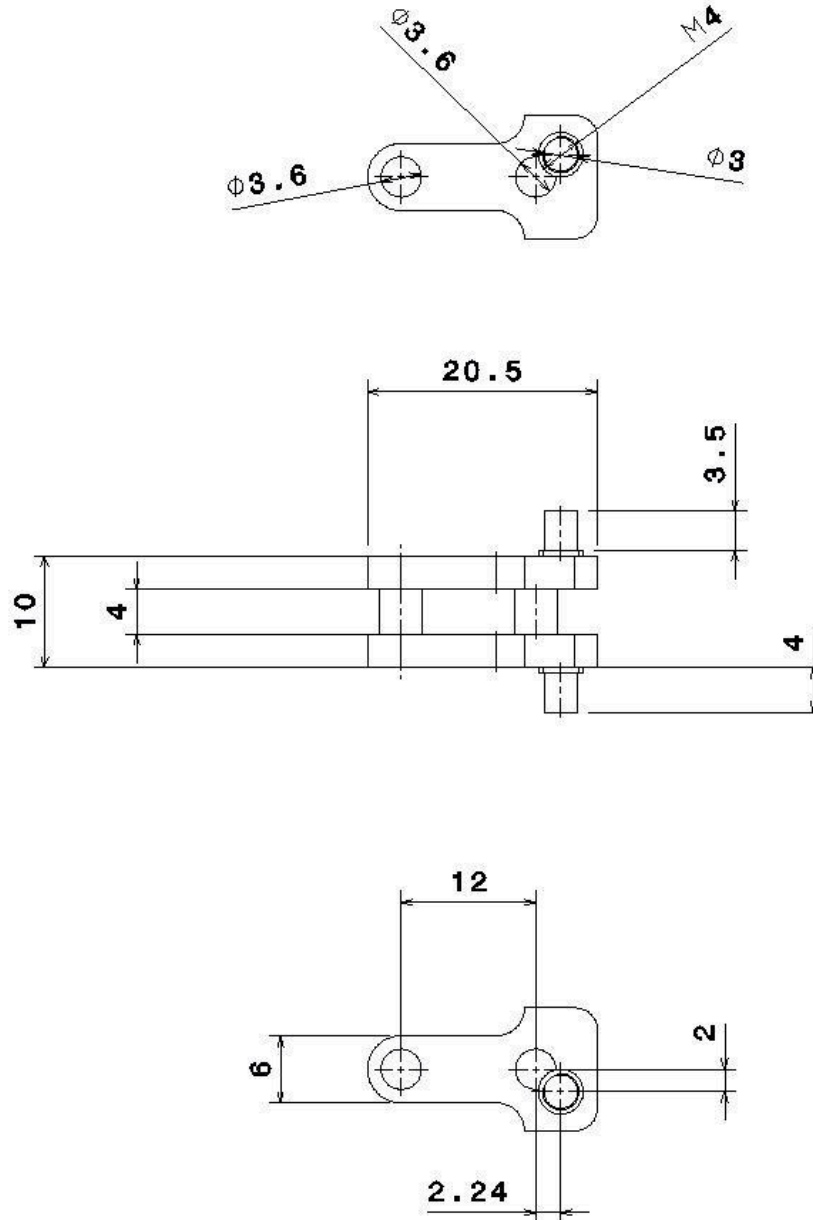
Annexe 2 : Dessins techniques



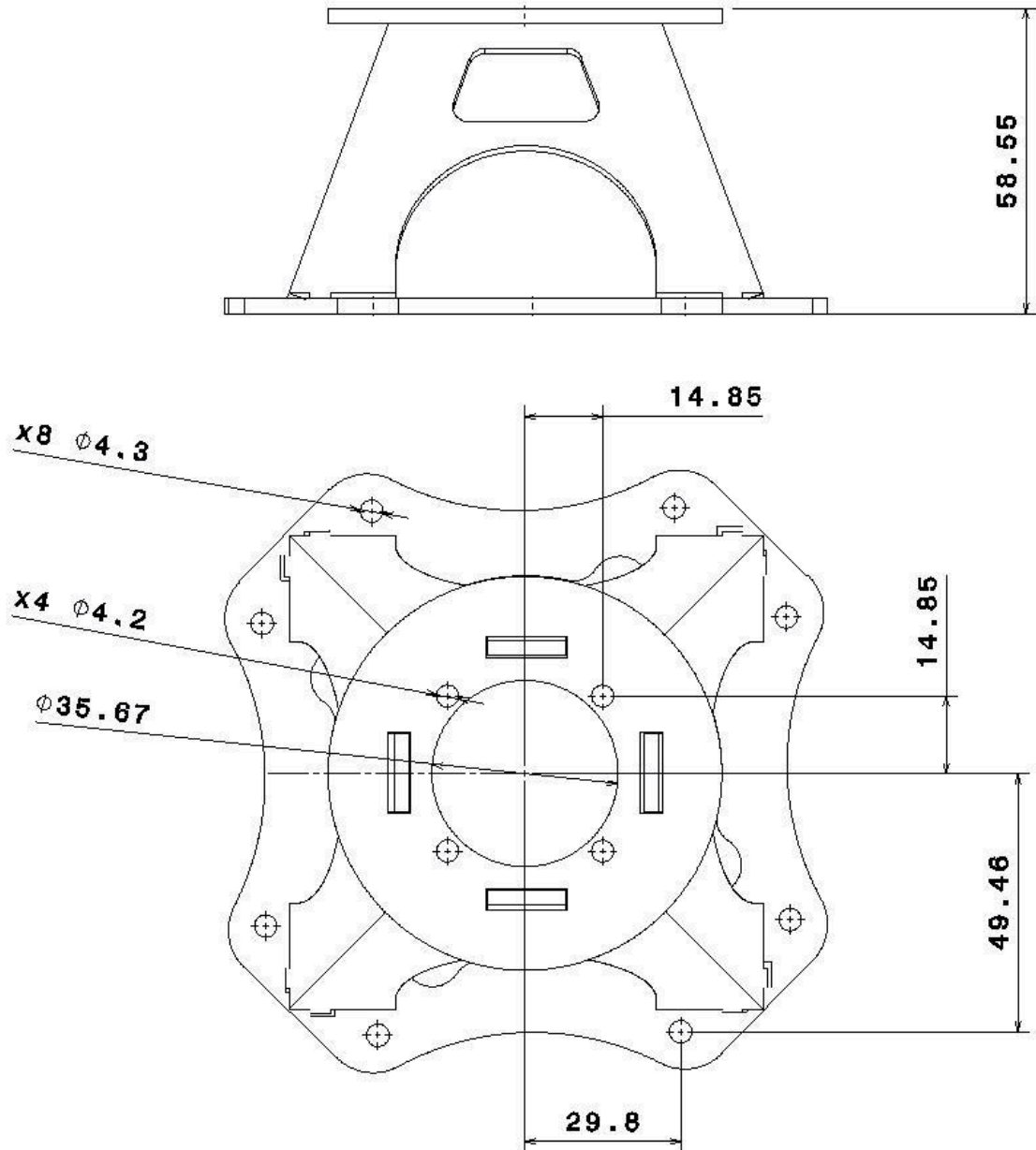
Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N°N°
Moyeu	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		To1.06n : ISO 2768...



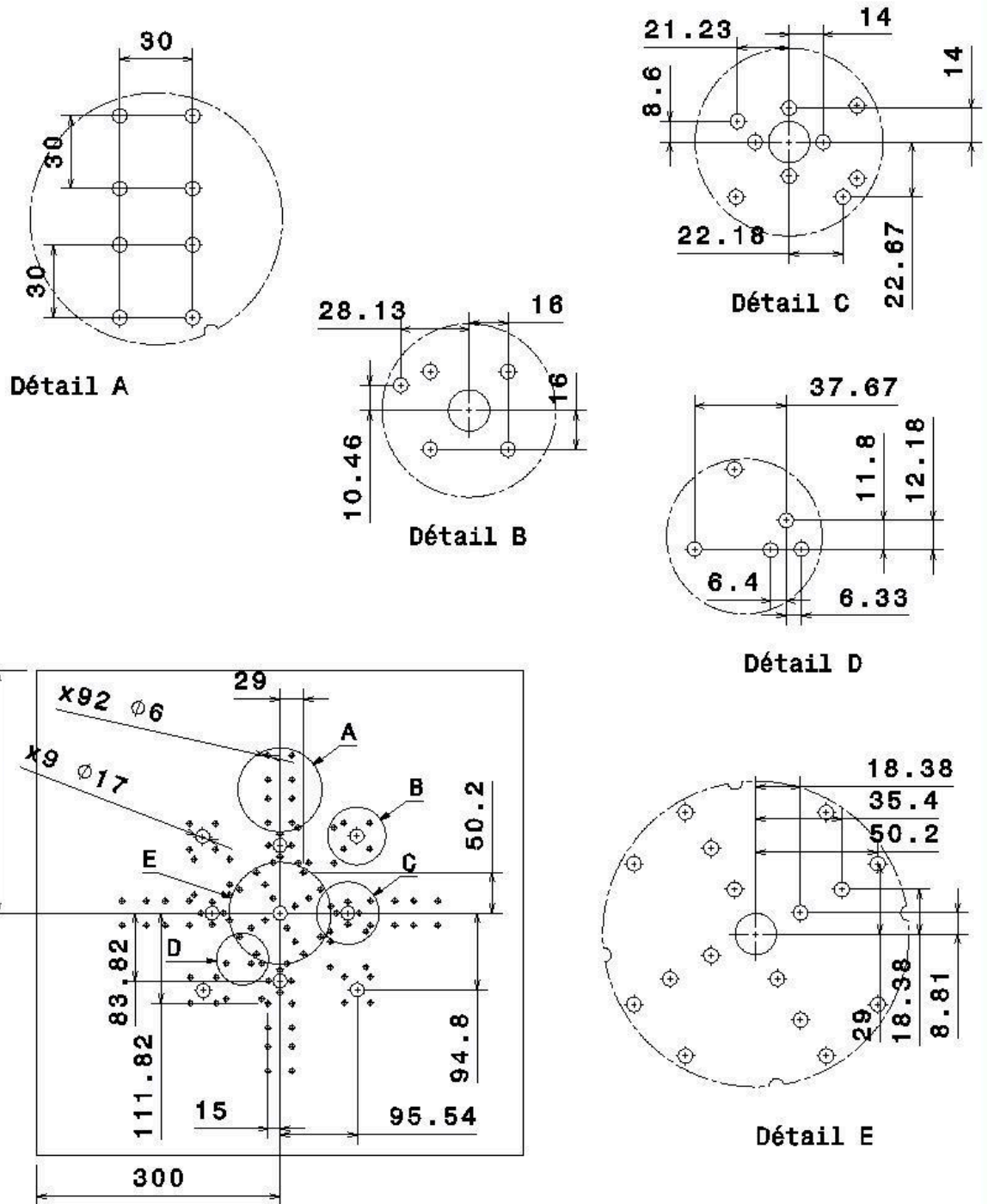
Ensemble : Maquette	Echelle : 1:4	N°N°
1/4_maquette	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		



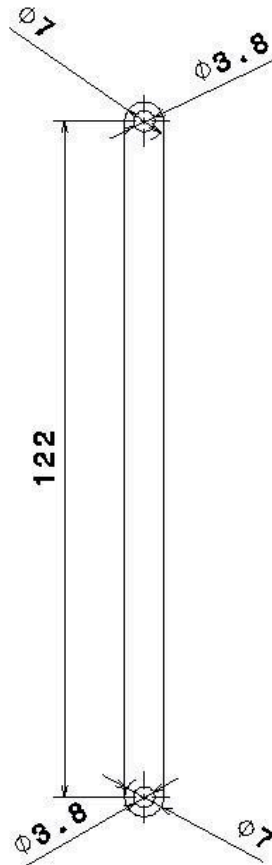
Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N°N°
maillon	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	
Nom du fichier : NOM DU FICHIER	Tol.Gén : ISO 2768...	



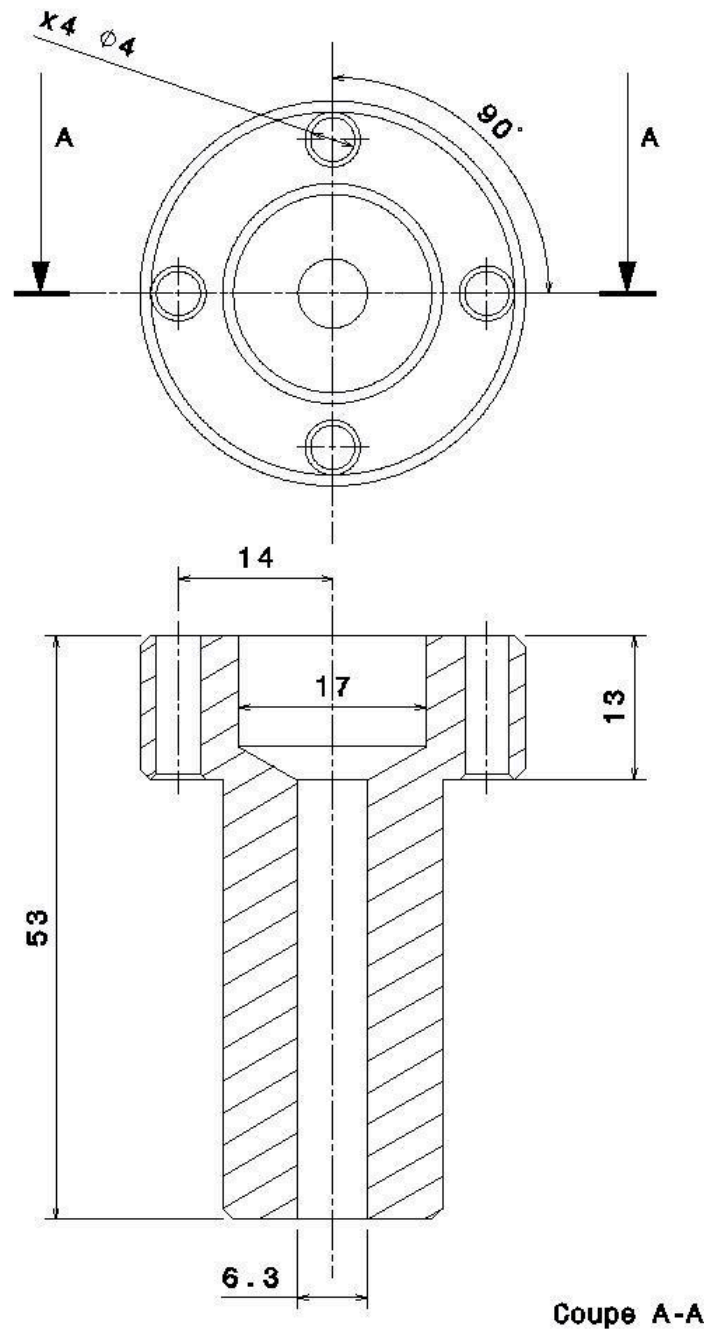
Ensemble : Maquette	Echelle : 1:1	N°N°
Suport_Moyeu	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	Tol.Gén : ISO 2768...
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		



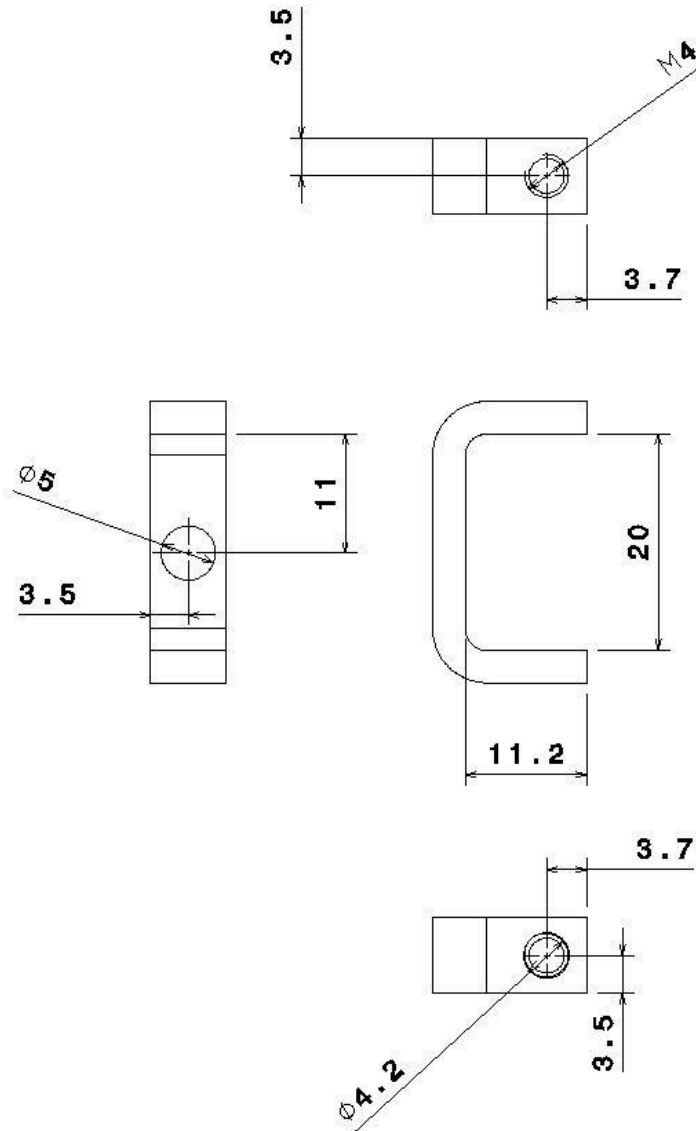
Ensemble : Maquette	Echelle : 1:4	N°N°
base	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	
Nom du fichier : NOM DU FICHIER	Tol.Gén : ISO 2768...	



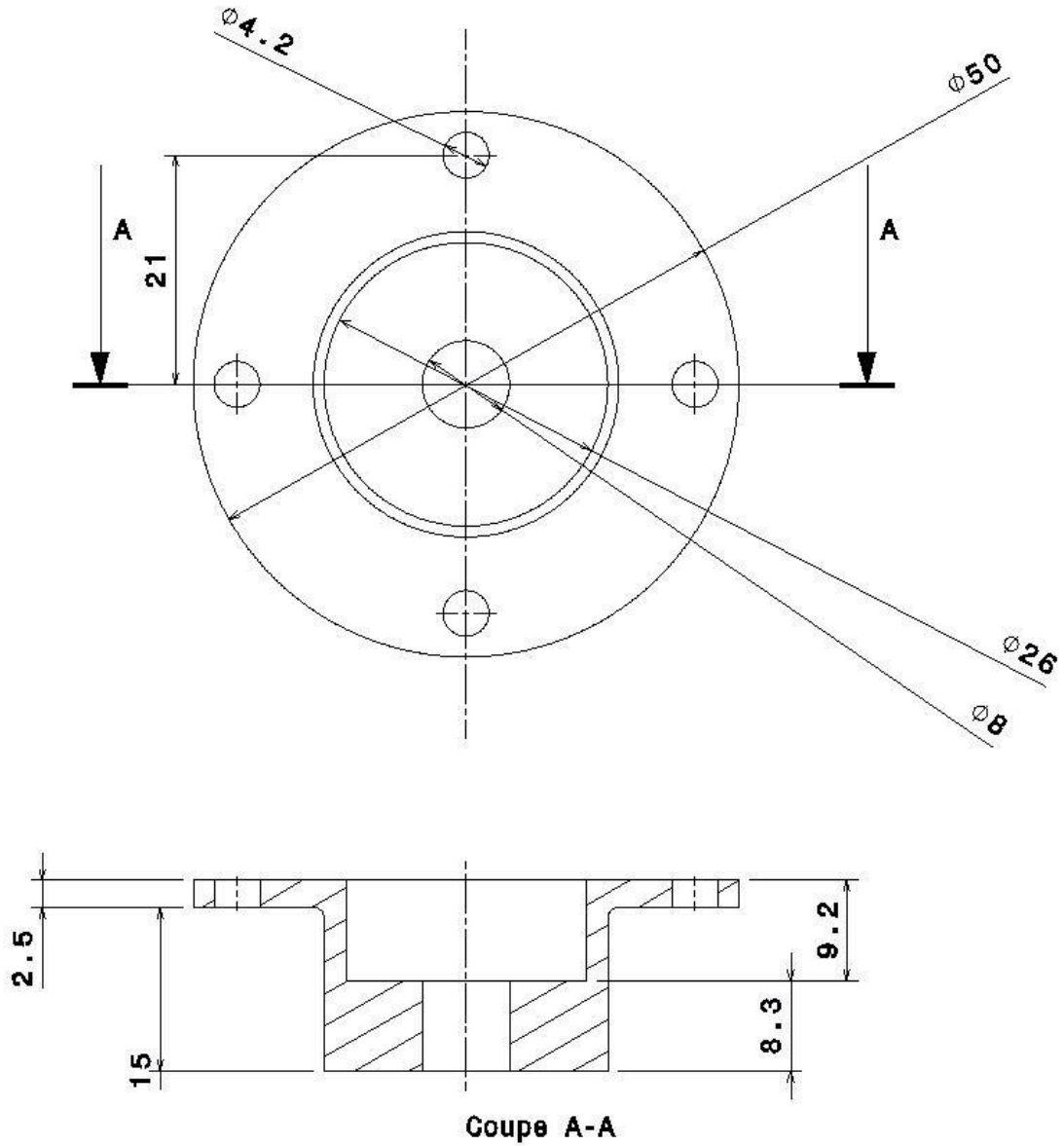
Ensemble : Maquette	Echelle : 1:1	N°N°
bielle	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		Tol.Gén : ISO 2768...



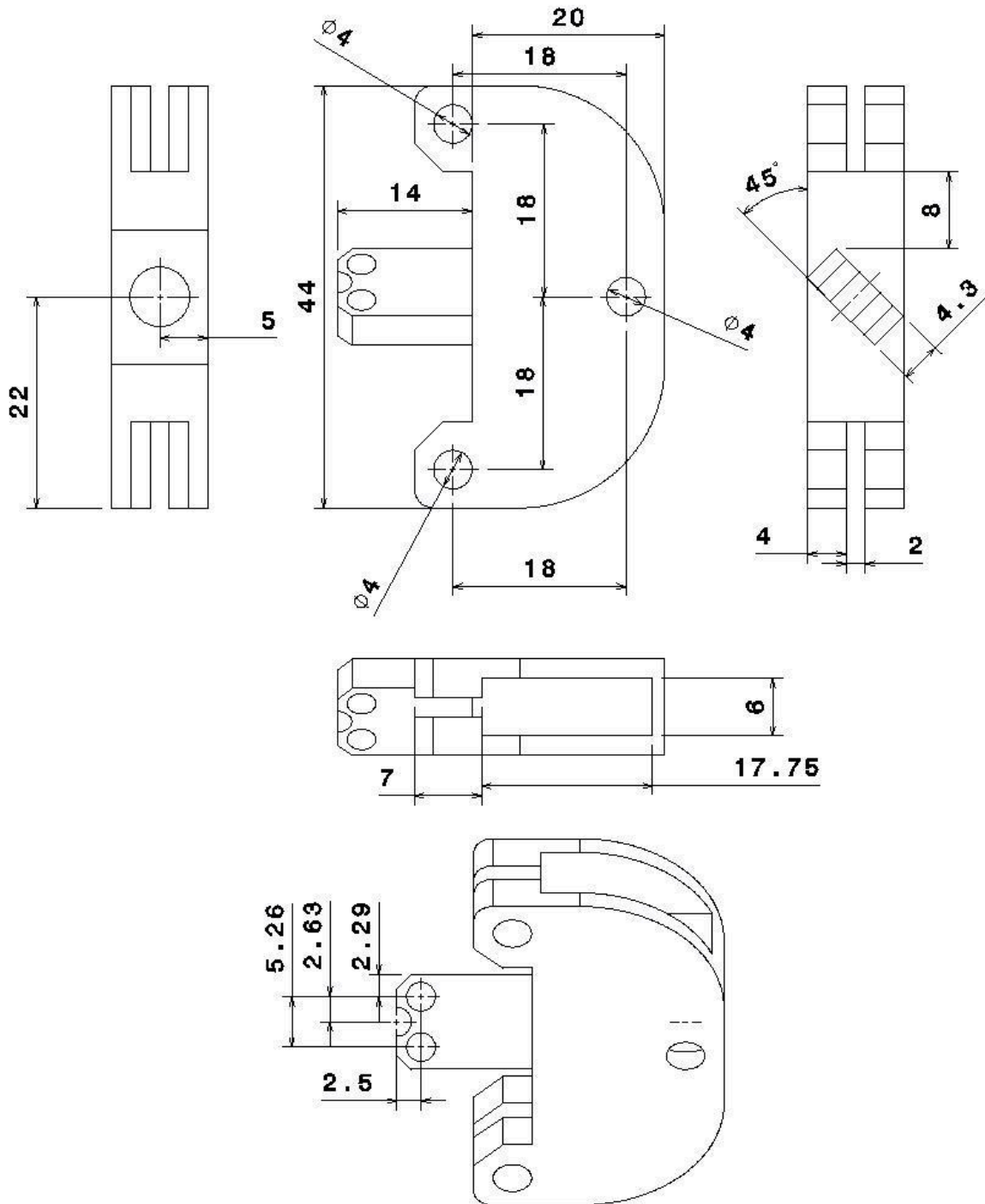
Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N°N°
Carter_verin	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		



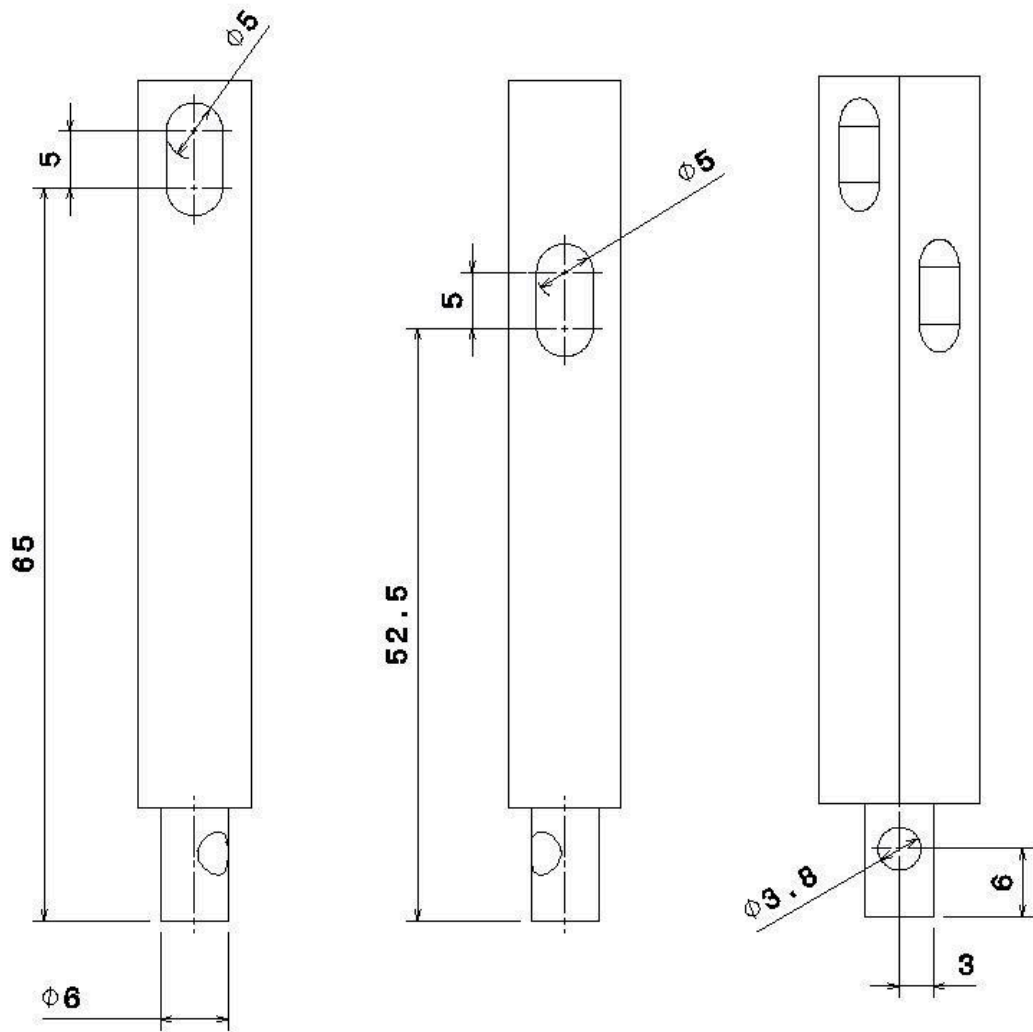
Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N° N°
Chape	Nom : Votre nom	IUT - GMP
	Date : Date	AIX EN PROVENCE
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		Tel.Gén : ISO 2768...



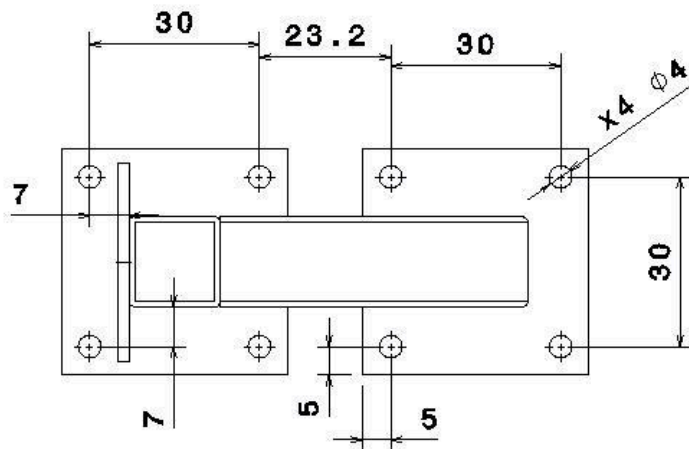
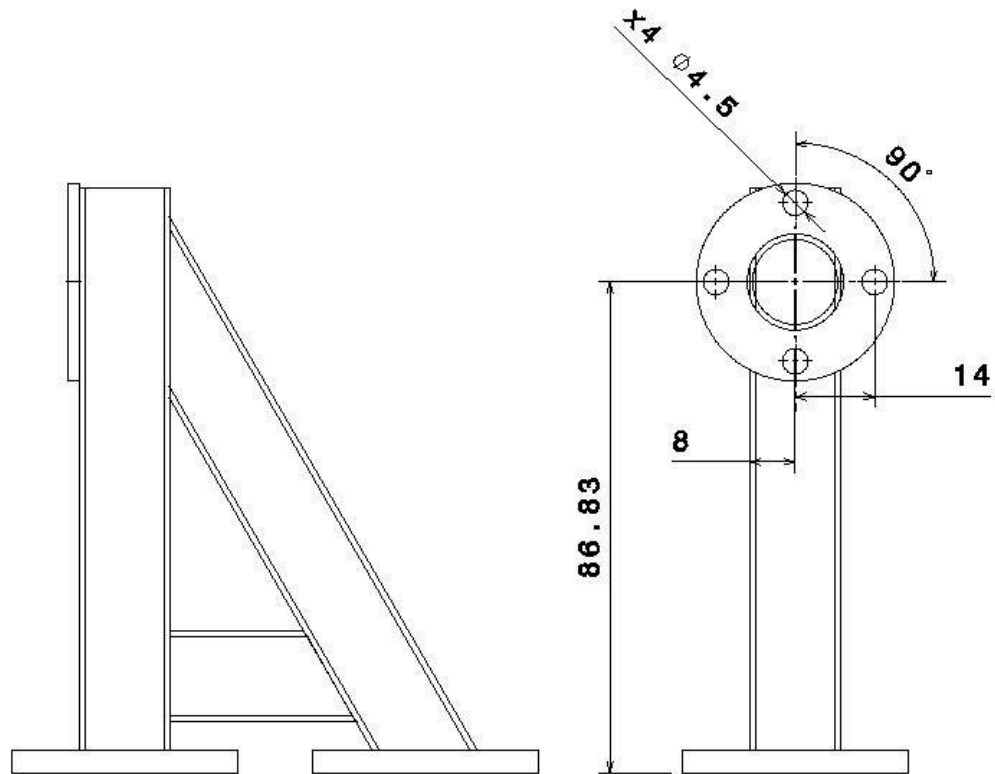
Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N°N°
coeur_bati	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	Tol.Gén : ISO 2768...
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		



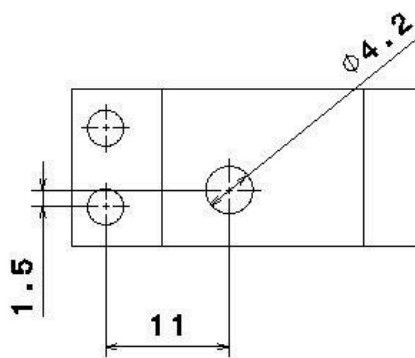
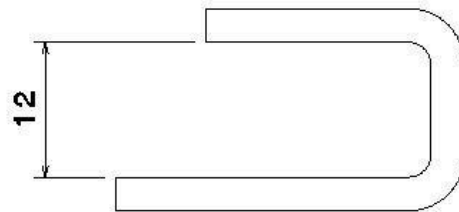
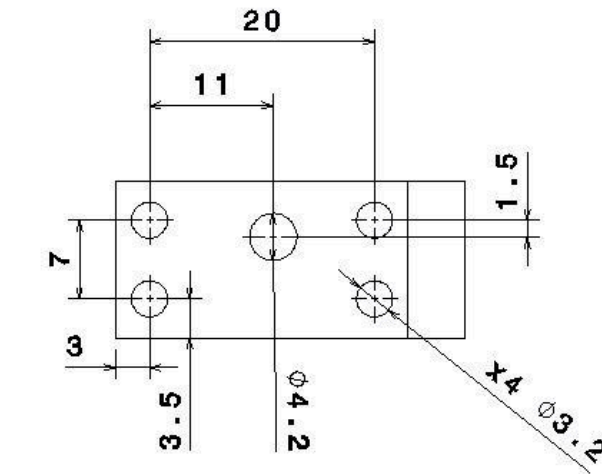
Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N°N°
fausse_pale_2	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	Tol.Gén : ISO 2768...
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		



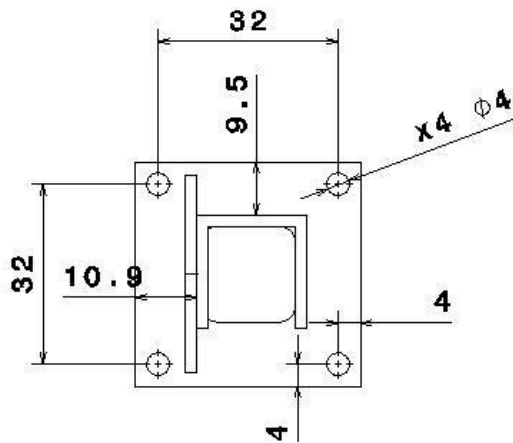
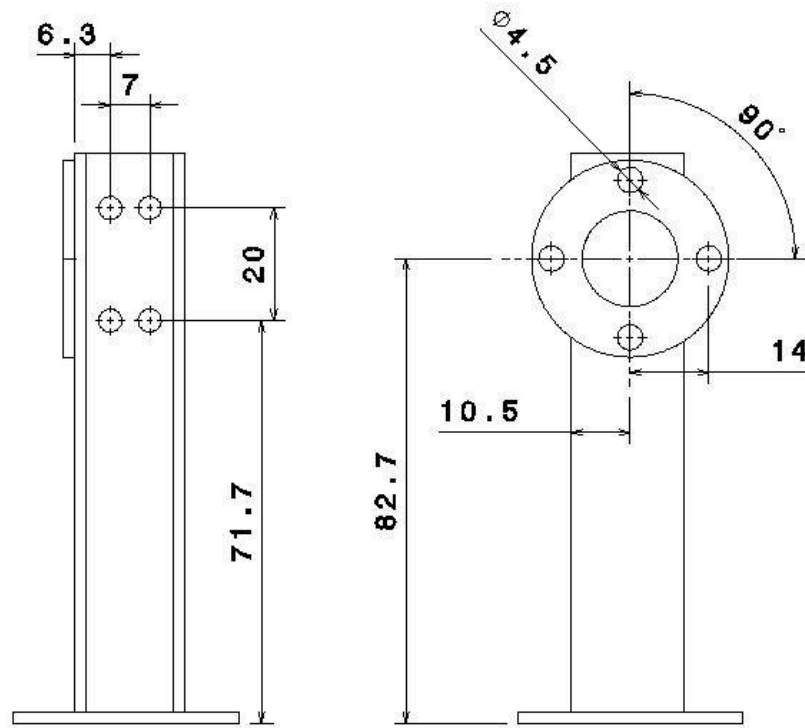
Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N°N°
fausse_pale_1	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	Tol.Gén : ISO 2768...
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		



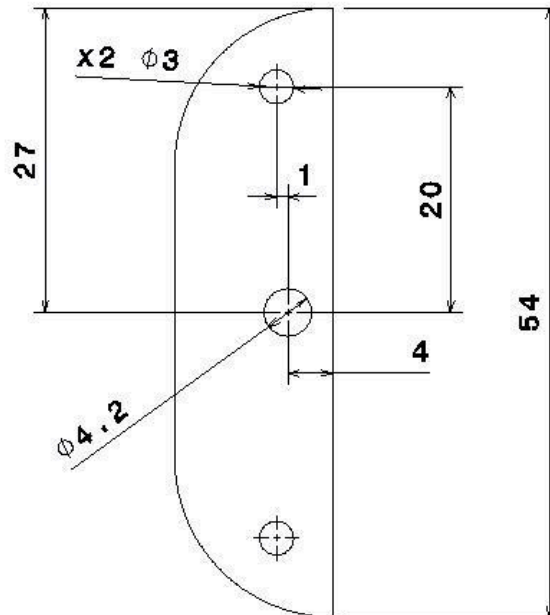
Ensemble : Maquette	Echelle : 1:1	N°N°
support_inertie	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	Tol.Gén : ISO 2768...
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		



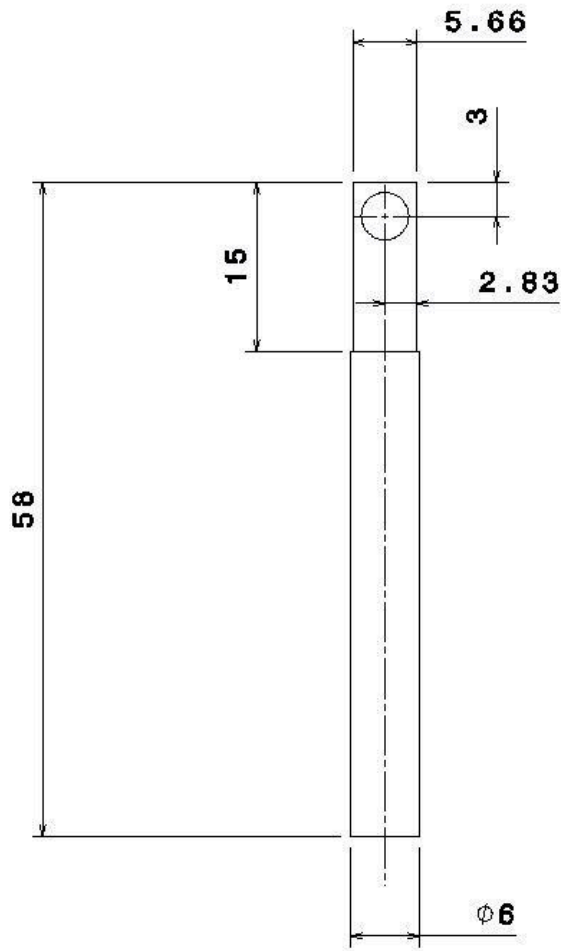
Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N°N°
support_r_a	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		



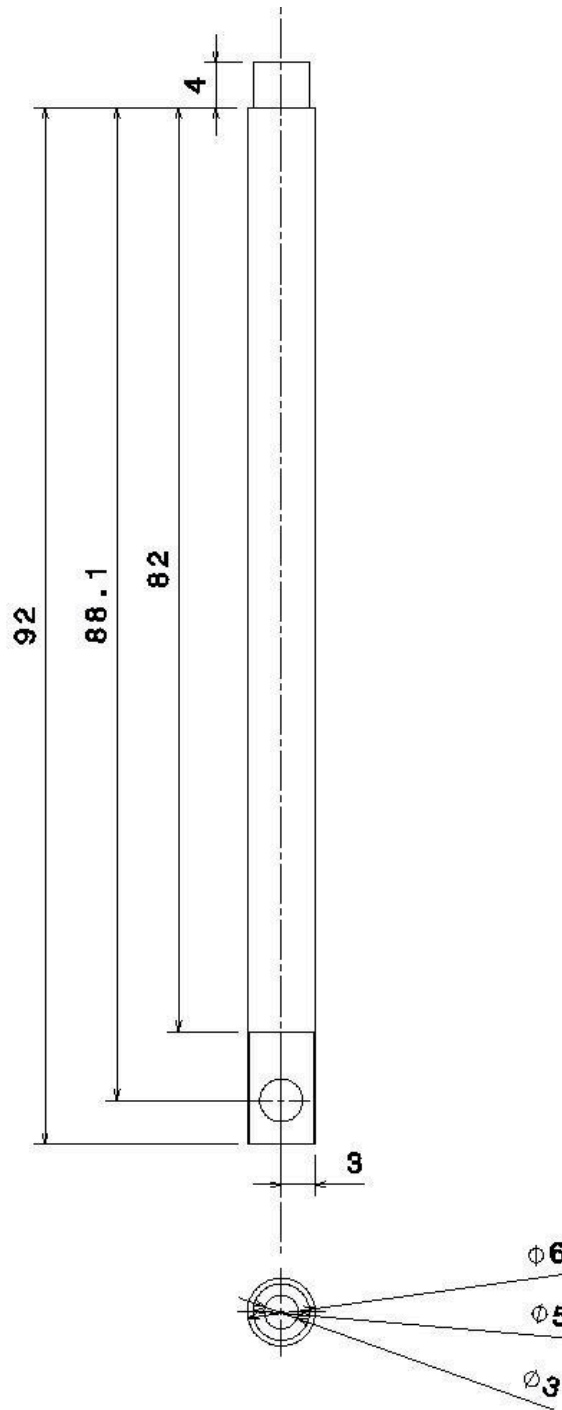
Ensemble : Maquette	Echelle : 1:1	N°N°
support_trainer	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	Tol.Gén : ISO 2768...
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		



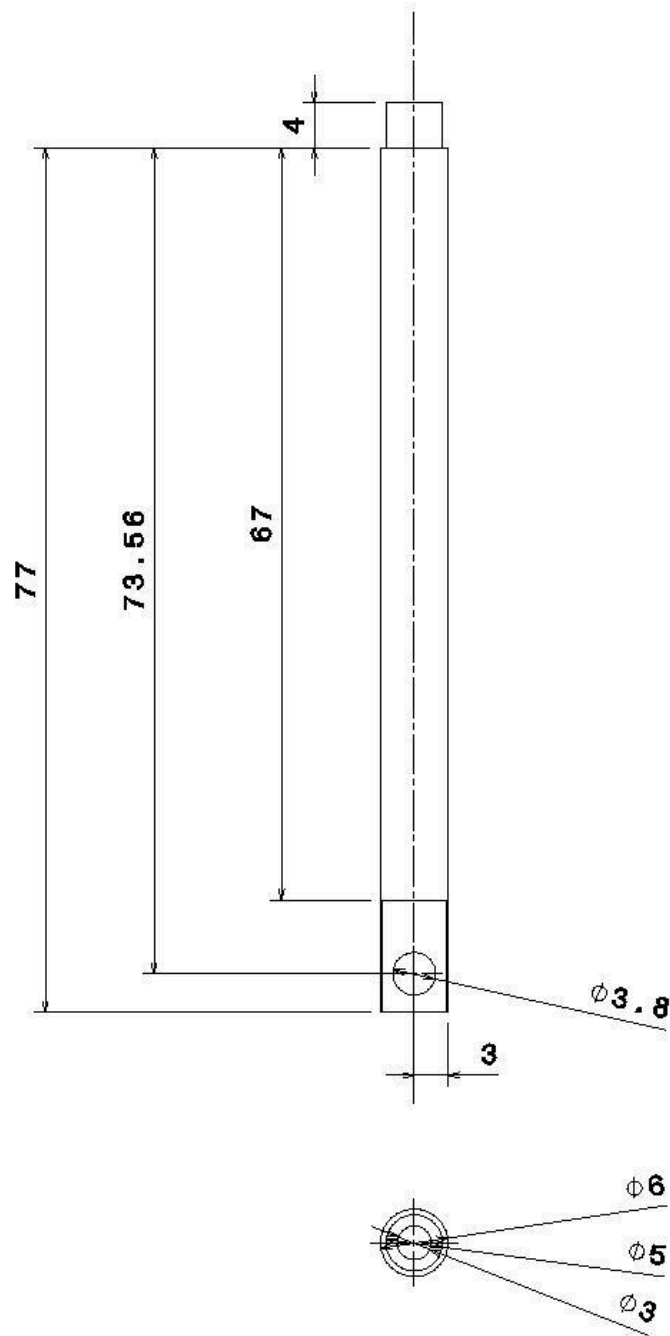
Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N°N°
Support-câble	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		Tol.Gén : ISO 2768...



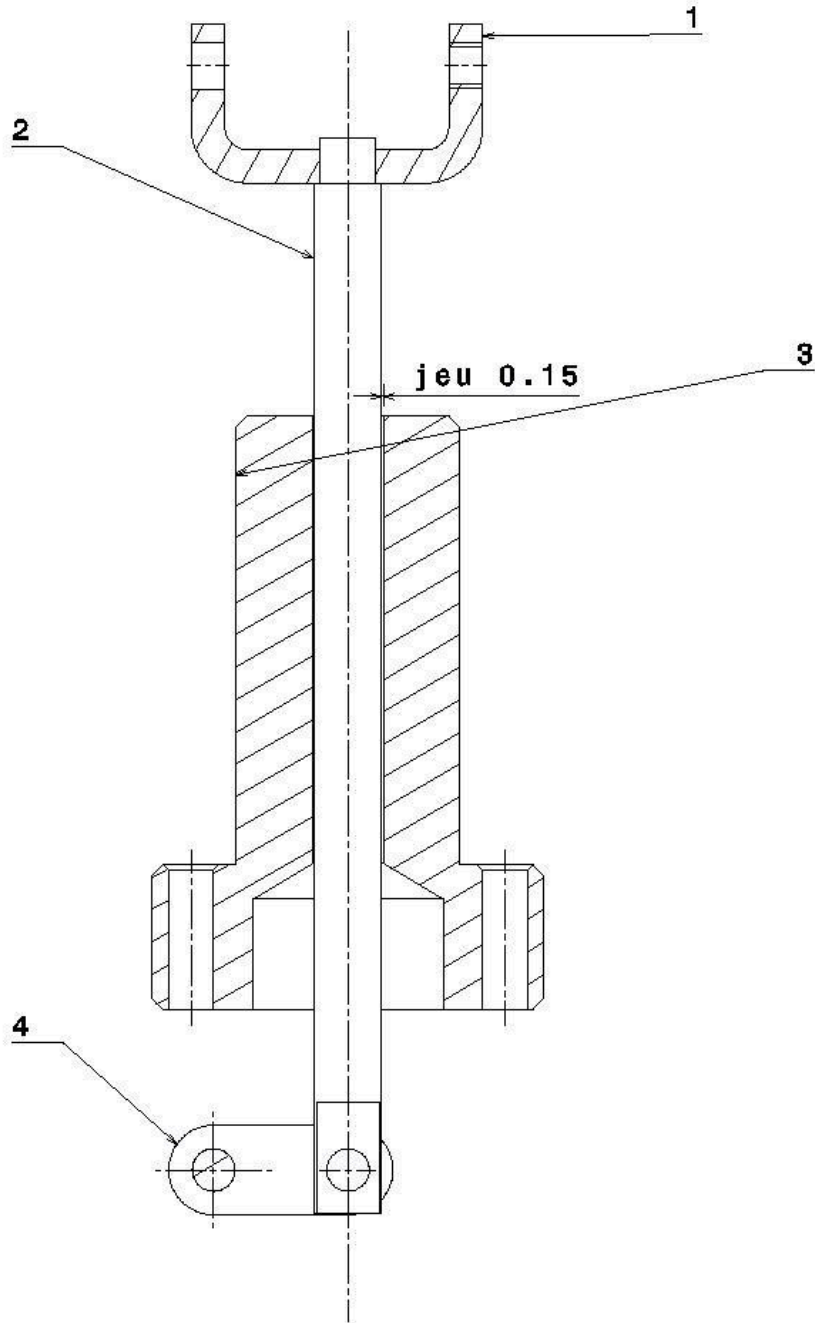
Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N°N°
Tige EVI	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		Tol.Gén : ISO 2768...



Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N°N°
Tige .1	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	Tol.Gén : ISO 2768...
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		



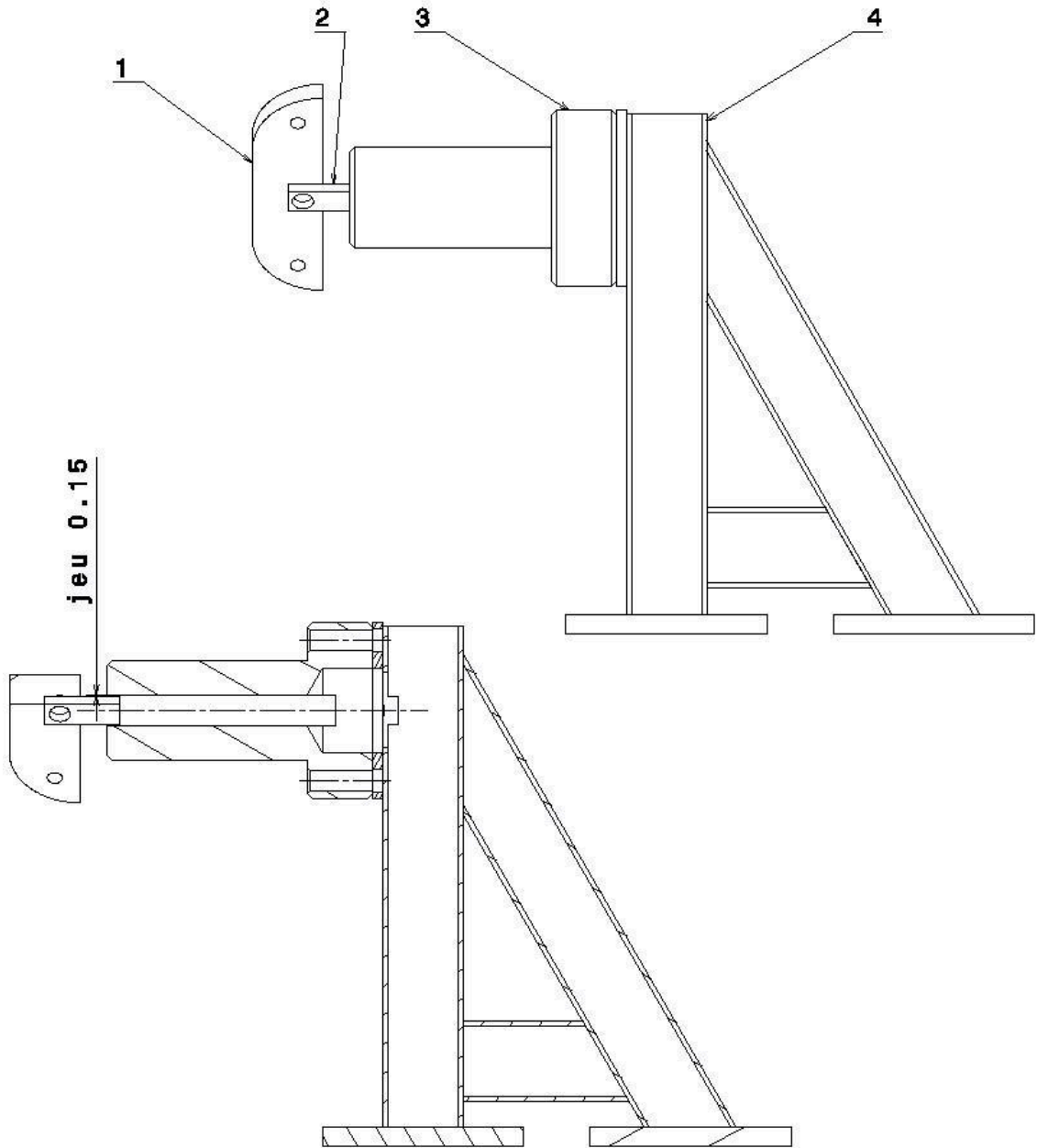
Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N° N°
Tige.2	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	Tol.Gén : ISO 2768...
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		



Ensemble : Maquette	Echelle : 2:1	N°N°
Verin_Portance	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	Tol.Gén : ISO 2768...
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		

Nomenclature Verin-Centrifuge

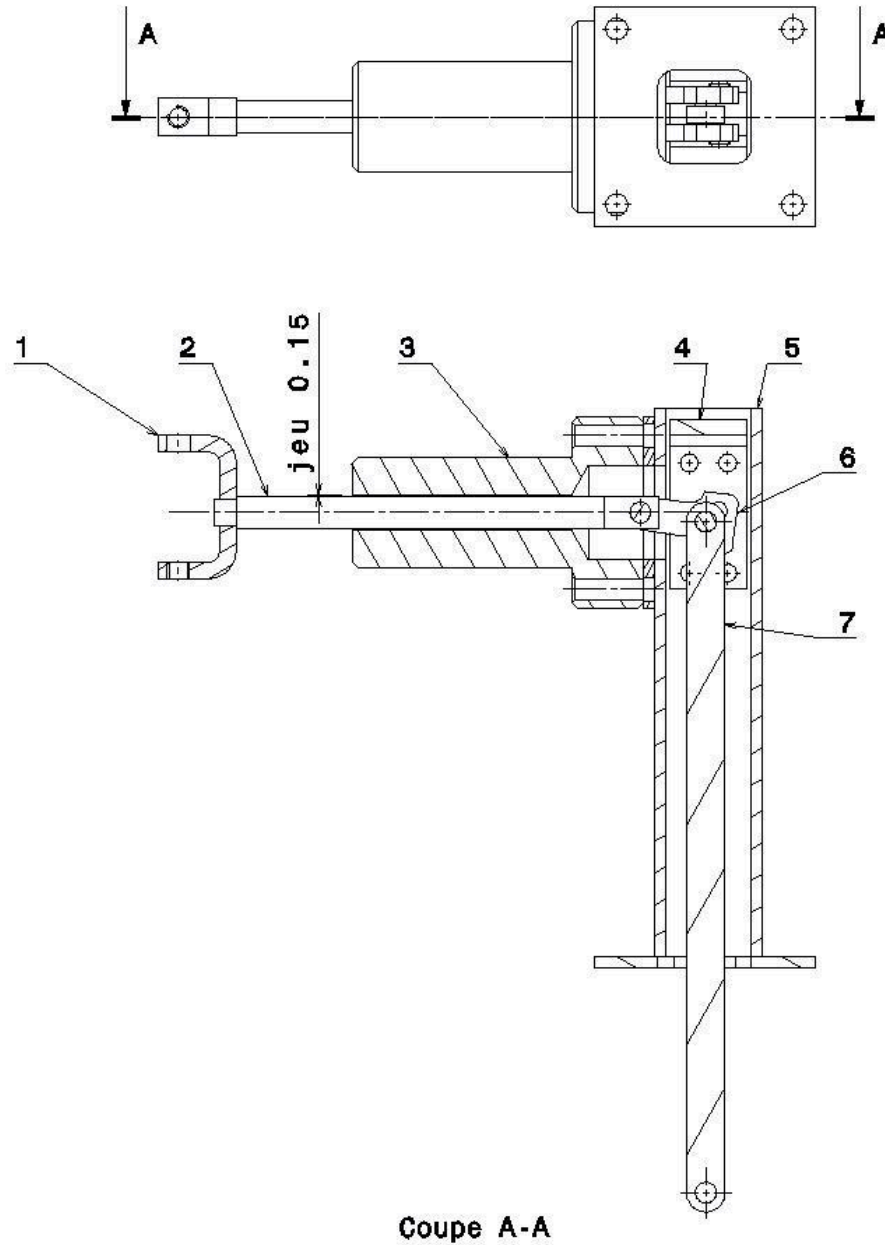
Nom	n°
chape	1
Tige.1	2
carter_verin	3
maillon_bis	4



Ensemble : Maquette	Echelle : 1:1	N° N°
Verin_Centrifuge	Nom : Votre nom	IUT - GMP AIX EN PROVENCE
	Date : Date	
Nom du fichier : NOM DU FICHIER	Tol.Gén : ISO 2768...	

Nomenclature Verin-Centrifuge

Nom	n°
support_cable	1
Tige EVI	2
carter_verin	3
support_inertie	4



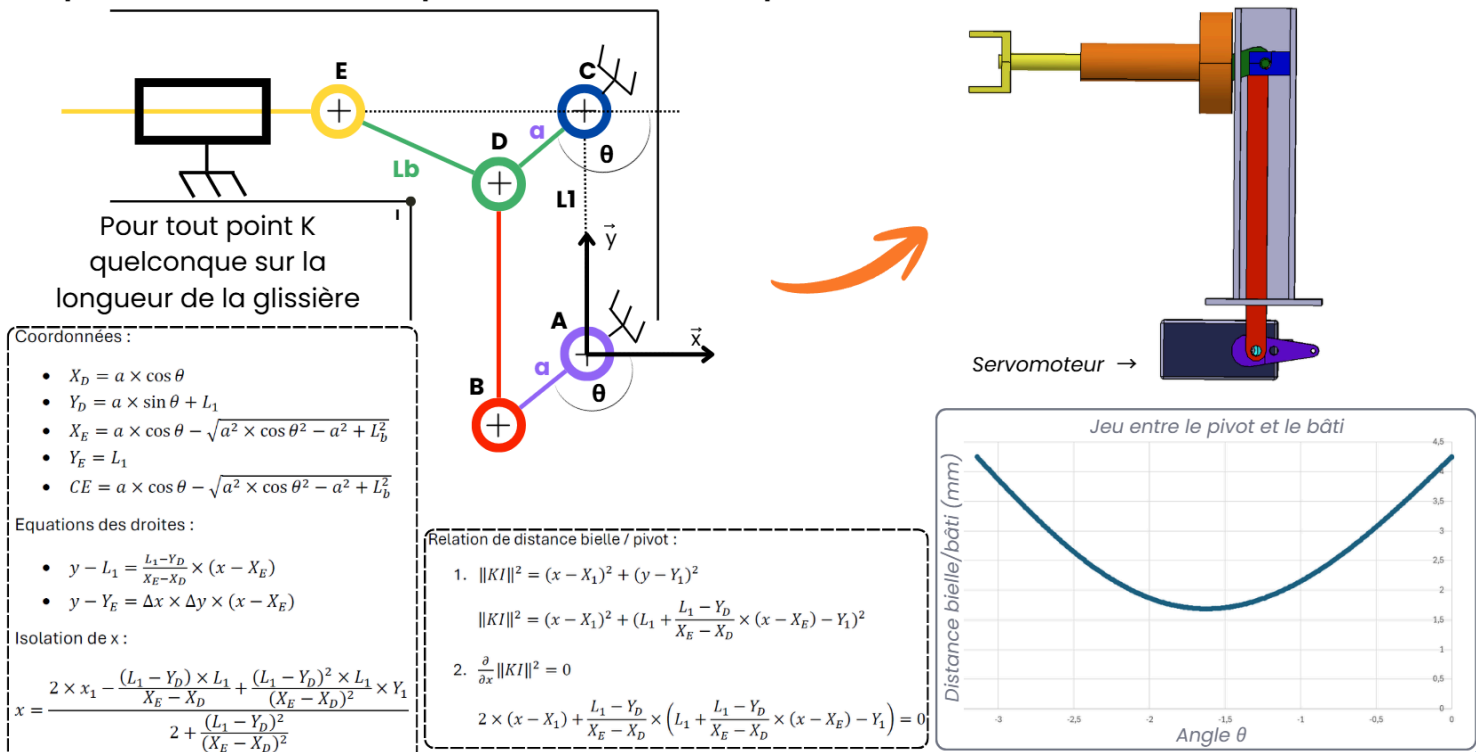
Coupe A-A

Ensemble : Maquette	Echelle : 1:1	N° N°
Verin_Trainer	Nom : Votre nom	IUT - GMP
	Date : Date	AIX EN PROVENCE
Nom du fichier : NOM DU FICHIER		Tol.Gén : ISO 2768...

Nomenclature Verin-Trainer

Nom	n°
chape	1
tige.2	2
carter_verin	3
support_r_a	4
support_trainer	5
maillon	6
bielle	8

Annexe 3 : Dimensionnement



Annexe 4 : Notice de Montage

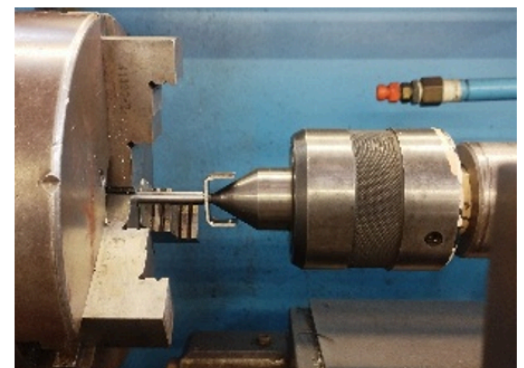
Notice d'assemblage de la maquette complète

1. Assemblage des tiges et des chapes

- Matériel : Tige de longueur 95mm (X4) et 81mm (X4), Chape (X8)
- Monter les tiges dans un tour conventionnelle, serrer la tige et insérer la chape en faisant attention a l'alignement avec le méplat.



- Monter la contre pointe et l'introduire dans le trou réalisé au centre de la tige afin de sertir la chape et la tige.

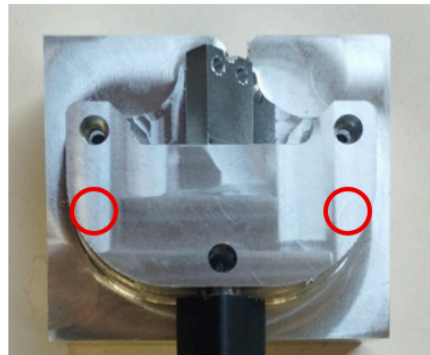


2. Assemblage de la fausse pale

- Matériel : Fausse pale partie 1 (X4), Fausse pôle partie 2 (X4), Vis M4 (X12)
- Assembler les 2 partie puis aligner les 2 pièces et venir visser l'ensemble

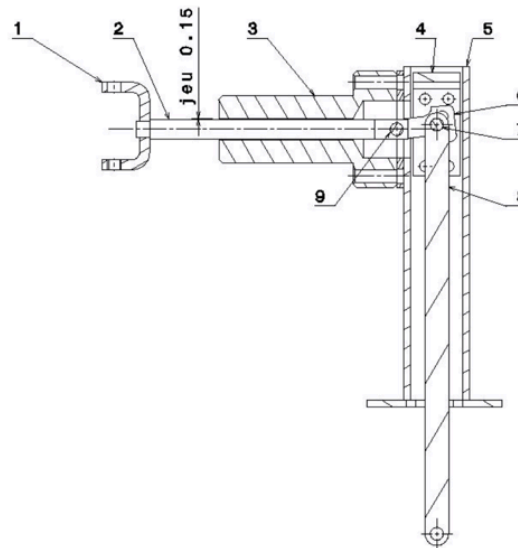


- Visser également les 2 endroits où vont venir s'enrouler les câbles



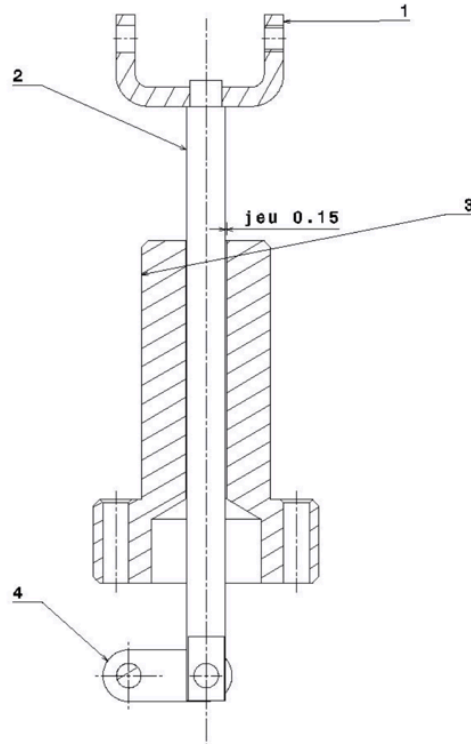
3. Assemblage du Vérin de trainée

- Matériel : Support en T (X4), Bielle (X4), ensemble tige/chape (X4), carter (X4), Support pivot (X4), Maillon usiné (X4), Vis M4 (X24), Ecrou M4 (X24)
- Insérer la tige/chape dans le carter
- Sertir le maillon à la tige
- Visser le carter au support
- Sertir la bielle une fois le maillon positionner dans le U
- Venir visser la plaque permettant de réaliser le pivot entre le maillon et le bâti
- Monter la dernière tige pour fixer le pivot bâti/maillon



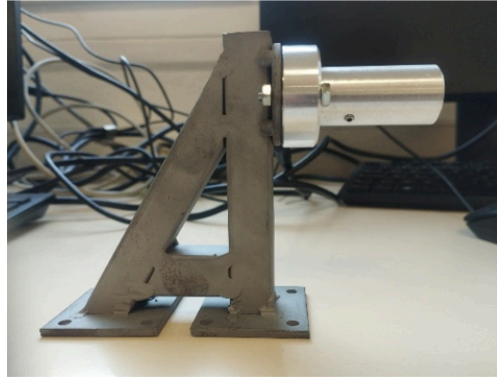
4. Assemblage du Vérin de portance

- Matériel : Carter (X4) , Assemblage tige/chape (X4), Maillon (X4), Vis M4 (X16), Ecrou M4 (X16)
- Insérer la tige/chape dans le carter
- sertir le maillon

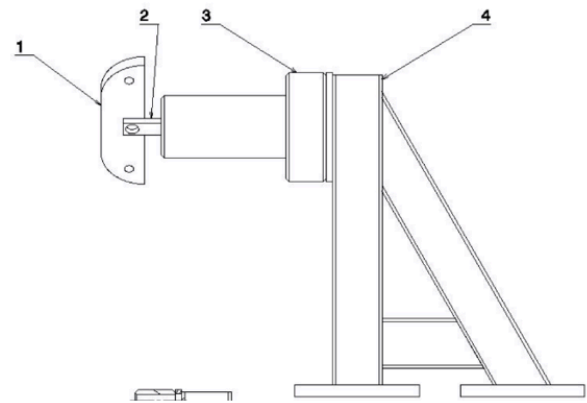
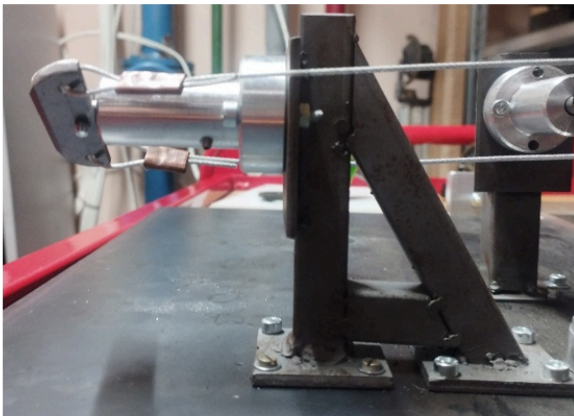


5. Assemblage du Vérin Centrifuge

- Matériel : Palonnier (X4), Tige (X4), Carter (X4), Support équerre (X4), Vis sans tête (X4), Vis M4 (X8), Ecrou M4 (X8)
- Assembler le palonnier avec la tige
- Assembler le carter et le support en équerre

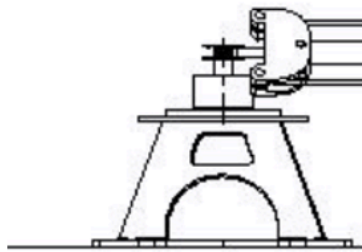


- Insérer la tige dans le carter



6. Assemblage du Bati

- Matériel : Plaque de 600*600mm, Base, Support Moyeu, Moyeu, Assemblage fausse-pale (X4), Assemblage vérin de trainée (X4), Assemblage vérin centrifuge (X4), Assemblage vérin de portance (X4), Support servomoteur (X8), servomoteur (X8), Vis M4 (X120), Ecrou M4 (X120), Vis M2 (X8), Ecrou M2 (X8)
- Visser la base sur la plaque
- Monter la moitié du support moyeux sur la base
- Insérer le moyeux dans la moitié du support
- Monter puis assembler la deuxième moitié
- Attacher les 4 fausses pale autour du moyeu
- Visser l'ensemble des assemblages de vérins sur la plaque



- Rattacher les chapes à la fausse pale par l'intermédiaire d'une visse
- Fixer les supports servomoteur sous la plaque puis les relier à la bielle ou la tige à l'aide d'une pièce intermédiaire

