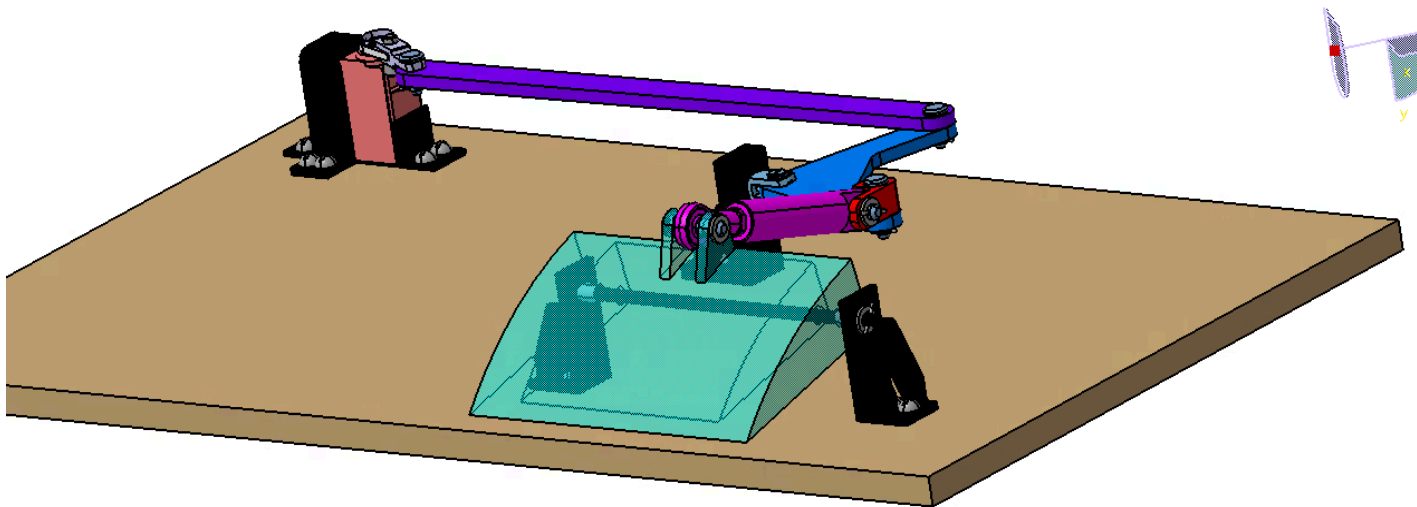


Systeme de guidage des ailerons pour le contrôle du roulis d'un avion de modélisme



Pour voir le mécanisme s'animer
(un avant goût avant la
soutenance)



SOMMAIRE

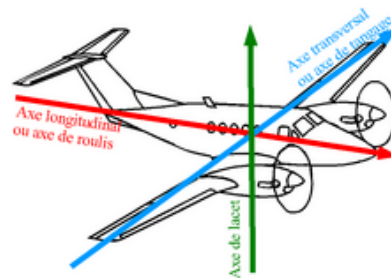
<i>I. Problématique</i>	<i>p.3</i>
<i>II. Mise en contexte et explication du mécanisme</i>	<i>p.3</i>
<i>III. Etat de l'art</i>	<i>p.6</i>
<i>IV. Cahier des charges</i>	<i>p.8</i>
<i>V. Schéma cinématique et squelette pilotant</i>	<i>p.10</i>
<i>VI. Loi entrée-sortie</i>	<i>p.11</i>
<i>VII. Choix technologiques</i>	<i>p.14</i>
<i>a) Axes et coussinets</i>	
<i>b) Chape</i>	
<i>c) Support</i>	
<i>d) Pièces</i>	
<i>VIII. Programmation</i>	<i>p.23</i>
<i>IX. Organisation</i>	<i>p.24</i>
<i>X. Conclusion</i>	<i>p.24</i>

I. **Problématique:** Comment orienter en roulis un avion de modélisme à l'aide d'un mécanisme d'aileron?

II. Mise en contexte et explication du mécanisme

Pour piloter un avion, il est nécessaire de pouvoir contrôler en permanence ses évolutions dans l'espace suivant trois directions ou axes :

- Axe de lacet
- Axe de roulis
- Axe de tangage



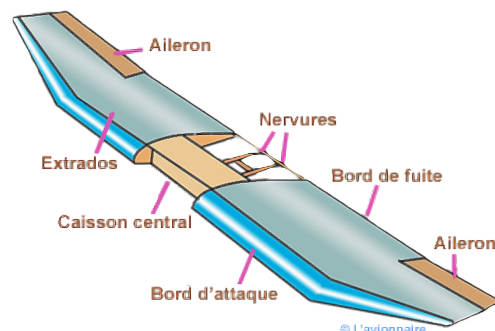
Dans notre projet, nous nous focaliserons sur l'axe de roulis, qui correspond à l'axe longitudinal autour duquel l'avion est guidé grâce aux ailerons.

Ce projet vise à concevoir un mécanisme permettant de guider et de contrôler la trajectoire d'un avion de modélisme en roulis en exploitant un système d'aileron motorisé à l'aide d'un servo moteur.

Avant de présenter le projet, il est important de réellement comprendre le mécanisme de base, son utilité, ainsi que la manière dont il fonctionne.

Nous allons donc détailler ces points.

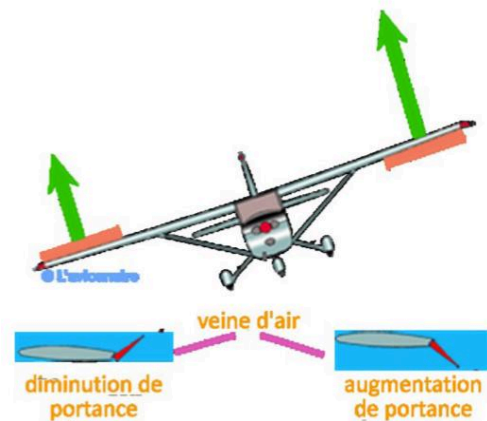
Les ailerons sont des surfaces mobiles qui se situent à l'arrière des ailes, près du bord de fuite.





Leur rôle est d'augmenter le bras de levier de l'aile pour contrôler le roulis. Ces derniers fonctionnent en position antisymétrique, ainsi lorsqu'un aileron est en position haute, l'autre se trouve en position basse.

Ainsi en se déplaçant simultanément dans des directions opposées, ils perturbent le flux d'air au-dessus des ailes, créant ainsi une différence de portance entre les deux côtés de l'avion. Lorsque l'un des ailerons s'abaisse, il génère plus de portance et plus de traînée, tandis que l'autre, relevé, produit moins de portance et de traînée. Ce déséquilibre entraîne une inclinaison de l'avion autour de son axe longitudinal, permettant ainsi de modifier sa trajectoire.



©L'avionnaire

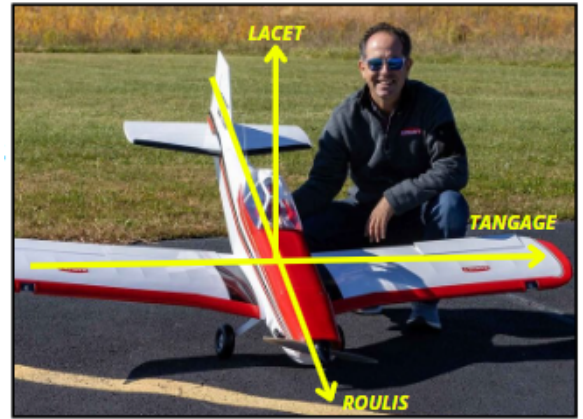
Il existe différents mécanismes que nous verrons en détails lors de l'état de l'art. Tous les avions ne possèdent pas nécessairement d'ailerons. Certains avions de chasse modernes, par exemple, utilisent des plans horizontaux entièrement mobiles pour contrôler le roulis au lieu d'ailerons classiques.

Cependant, le principe du guidage par ailerons est couramment utilisé sur les avions légers et les avions de ligne. Leur mécanisme varie en fonction du type d'appareil. Néanmoins, pour notre projet, nous nous baserons sur les mécanismes utilisés sur les avions de modélisme.

L'objectif de ce projet est de réaliser un prototype de mécanisme de guidage des ailerons pour contrôler le roulis d'un avion de modélisme.

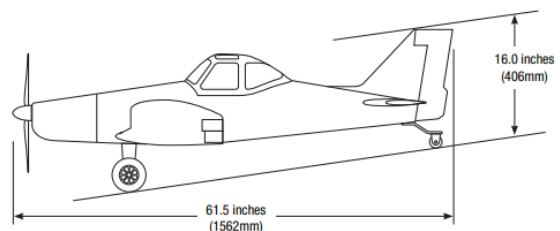
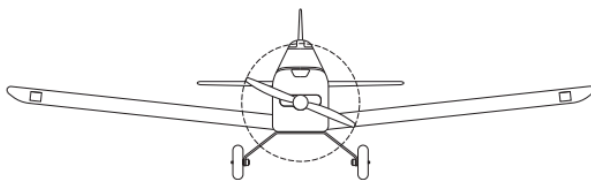
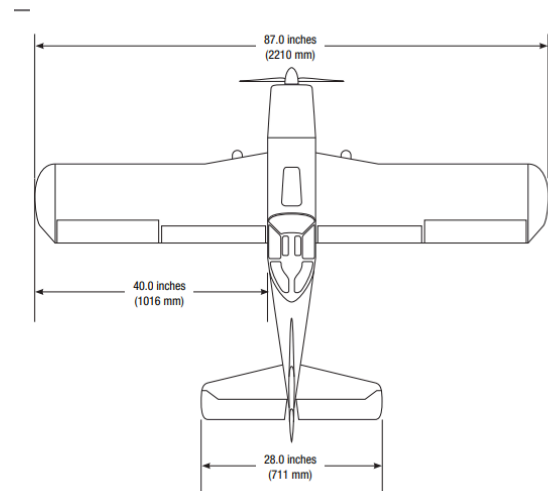
Pour ce faire, nous nous baserons sur un avion de modélisme, le Pawnee Brave 20cc 87", avec les contraintes dimensionnelles suivantes:

Envergure : 2210 mm
Longueur aile : 1016 mm
Épaisseur de l'aile : 58 mm
Largeur aile : 329 mm



©horizonhobby

Néanmoins, pour des raisons évidentes, nous ne pourrons pas réaliser notre mécanisme à l'échelle 1:1. L'aileron sera imprimé en 3D, les dimensions des imprimantes 3D dont nous disposons sont de 25*20 mm. Elles ne permettent donc pas de respecter les dimensions de l'aileron. Cependant, le mécanisme doit tout de même être contenu dans l'aile.

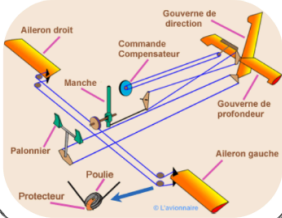
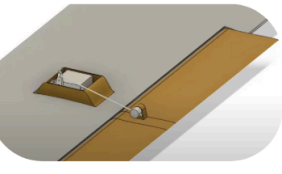
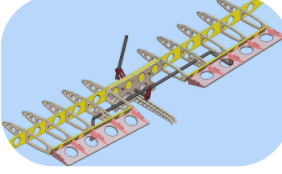


Par conséquent, la solution qui nous viendrait à l'esprit est de tout simplement réduire l'échelle du système dans le but de garder une proportionnalité entre les pièces ce qui permettrait ainsi de respecter l'ensemble des dimensions du mécanisme.

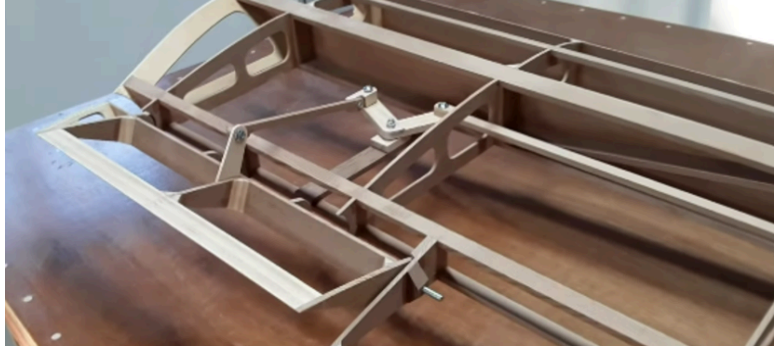
En théorie, il s'agit là d'une bonne idée. En pratique, cela s'avère plus complexe. La raison pour laquelle passer de l'échelle réelle à une échelle plus petite n'est pas possible est que certaines pièces ont déjà de faibles dimensions. Réduire davantage ces dernières pourrait les fragiliser et engendrer des problèmes qui se répercutent sur le reste du mécanisme. Même si les dimensions n'ont pas pu être respectées, le fait de se baser sur un mécanisme déjà existant nous a permis d'avoir un point de départ ainsi qu'une ligne directrice.

III. Etat de l'art

Il existe différentes solutions de mécanisme d'ailerons ayant pour but de guider l'avion en roulis.

Système	Explications	Avantages	Inconvénients
<p>Solution de guidage par câbles et poulies</p> 	<p>Le manche (commandé par le pilote) est relié aux ailerons par des câbles passant par des poulies (mouvement de pivot). En bougeant le manche, un câble tire un aileron vers le haut et l'autre vers le bas, ce qui provoque le roulis de l'avion.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Permet de placer les commandes à distance (pratique dans de grands fuselages). • Léger si bien conçu. • Fonctionne sans électricité (utile dans les avions anciens ou maquettes très réalistes). 	<ul style="list-style-type: none"> • Complexe à installer et à régler. • Nécessite des poulies précises, de bons tendeurs, et des câbles résistants. • Moins courant aujourd'hui dans les petits modèles RC (radiocommandés) modernes.
<p>Commande directe par servo moteur dans l'aile</p> 	<p>Un servomoteur est monté directement à l'intérieur de l'aile, à proximité de l'aileron. Il est relié à l'aileron par une biellette (petite tringlerie rigide). Le servo tourne légèrement selon le signal reçu, ce qui fait pivoter l'aileron via un guignol fixé sur celui-ci.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Installation simple et très répandue. • Réponse rapide et précise : peu de jeu mécanique. • Facile à entretenir : le servo peut être remplacé sans démonter l'aile entière. • Compatible avec les mixages modernes (possibilité de configurer des commandes plus complexes). 	<ul style="list-style-type: none"> • Câbles à protéger à l'intérieur de l'aile (surtout si elle est démontable). • Nécessite souvent un servomoteur par aileron, donc un peu plus de poids, coût et programmation. • Exposition au choc en cas d'atterrissage dur (surtout si le servo dépasse un peu sous l'aile).
<p>Commande par tringlerie centrale (plus courante)</p> 	<p>Un servomoteur central (situé dans le fuselage) fait tourner une tringlerie rigide qui traverse l'aile. Celle-ci est reliée à deux leviers (guignols) fixés aux ailerons. Cette rotation fait monter un aileron et descendre l'autre, provoquant le roulis de l'avion.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Commande symétrique et simple : un seul servo pour les deux ailerons. • Pas de servos visibles dans les ailes (bon pour les maquettes). • Moins de câbles électriques. • Utilisé dans certains modèles RC ou dans les maquettes classiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Demande précision mécanique pour éviter du jeu. • Plus difficile à réparer si la tringlerie est longue ou interne. • Moins de flexibilité pour les mixages modernes (ex : spoilerons, volets différenciés).

En ce qui nous concerne, nous avons fait le choix de partir sur la troisième solution que nous adapterons aux besoins et aux contraintes de notre projet. Cette solution également appelée commande par guignol et biellettes est la plus cohérente avec notre projet car notre but est de réaliser un prototype,



© Aileron movement for a model plane par [AirportCat](#), Youtube

ainsi celui-ci va être démonté puis remonté plusieurs fois, celui-ci permet une robustesse et une fiabilité mécanique. De plus, les réglages sont plus évidents car les dimensions des pièces sont faciles à ajuster comparé au système de guidage par câbles et poulies qui, quant à lui, est plus complexe à tendre et ajuster. L'entretien de ce mécanisme est également plus simple de par la facilité d'accès aux pièces, il permet de démonter une pièce sans pour autant démonter l'entièreté du mécanisme. Le système par tringlerie centrale permet une commande symétrique des deux ailerons depuis un seul point, ce qui permet une centralisation du système ainsi que l'utilisation d'une seule transmission de puissance pour les deux ailerons. Finalement, ce système permet une visualisation claire du mouvement de chaque pièce, ce qui est idéal dans le cadre d'un projet pédagogique.

Pour notre prototype, nous avons fait le choix de représenter un aileron sur deux, pour la simple et bonne raison que le côté opposé fonctionne exactement de la même manière de façon antisymétrique. Il aurait uniquement fallu remplacer le palonnier à bras simple du servomoteur par un palonnier à deux bras. Cela n'était donc pas pertinent d'un point de vue mécanique.



IV. Cahier des charges

Avant de se lancer dans un projet, il est important d'établir un cahier des charges avec toutes les fonctions de contraintes à respecter. Cela permet d'avoir une vue d'ensemble sur les conditions à respecter lors de la réalisation du prototype. Ainsi, il permet de définir les objectifs à atteindre et les priorités du projet.

repère	Fonction	Critère d'appréciation	Niveau de performance	Flexibilité
FP1	Fonctionner en coordination avec les autres éléments de contrôle	-	-	-
FP1.1	Erreur entre l'input et l'angle réel de l'aileron	angle	0.5°	1° max
FP1.2	Temps de réaction des commandes	temps	≤ 2 sec	±1 sec
FC2	Résister à un birdstrike	résistance	absence de déformation	-
FC3	Résister aux conditions aérodynamiques	-	-	-
FC3.1	Supporter les variations de pression	Maintien des performances	variation de pression ±20%/ pression de réf	-
FC3.2	Résister aux forces aérodynamiques générées en vol	Maintien des performances	Fonctionner jusqu'à 300 km/h	-
FC4	Contrôle des ailerons	-	-	-
FC4.1	Temps de déplacement de l'aileron aux positions extrêmes.	Vitesse	5 secondes	10 secondes max
FC4.2	Doit se déclencher/rétracter en	débattement angulaire	de 15° à -15°	au moins

	fonction des inputs du pilote			15°
FC5	Résister aux conditions météorologiques	résistance	IP 54 -20°C < T < 60°C	± 5°C
FC6	Capable de transmettre la puissance par servo moteur	-	-	-
FC 6.1	Assurer une transmission fiable de la puissance du servomoteur aux ailerons	Peu de perte	Eviter le jeu entre les pièces	-
FC 6.2	Protection contre les surcharges et défaillances	Intensité	Capteur d'intensité < 1.3 A	± 500mA
FC 6.3	Doit être stable sous des charges variées	Couple suffisant	Couple minimal du servomoteur ≥ 2,5 Nm	-
-	Doit être facile à fabriquer dans le cadre d'un prototypage	rapidité/ simplicité	-	-
-	Doit être contenue dans les dimensions de l'aile	volume	1010*329*58 mm	1010*329*58 max
-	Optimiser le poids du mécanisme	Poids	< 6kg	± 200g

Diagramme bête à corne:

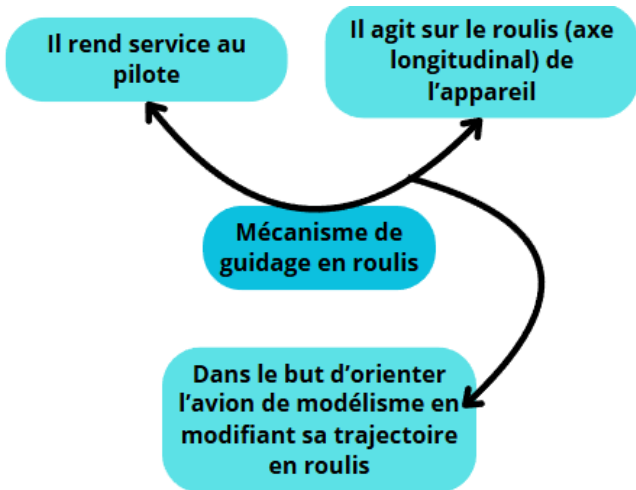
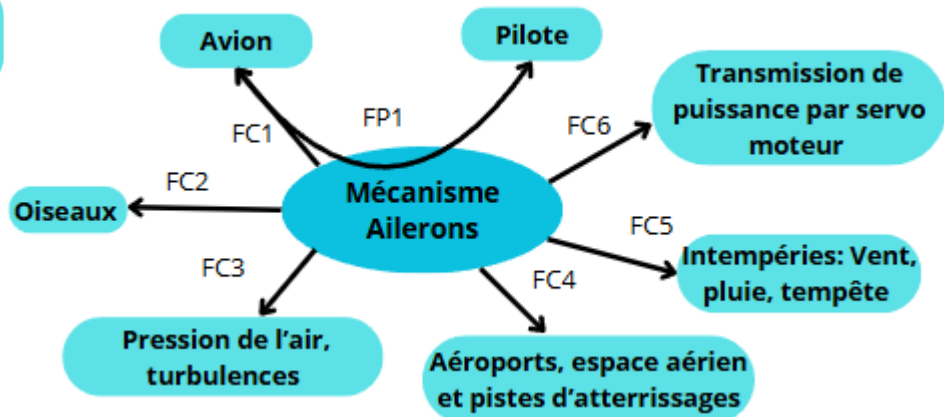
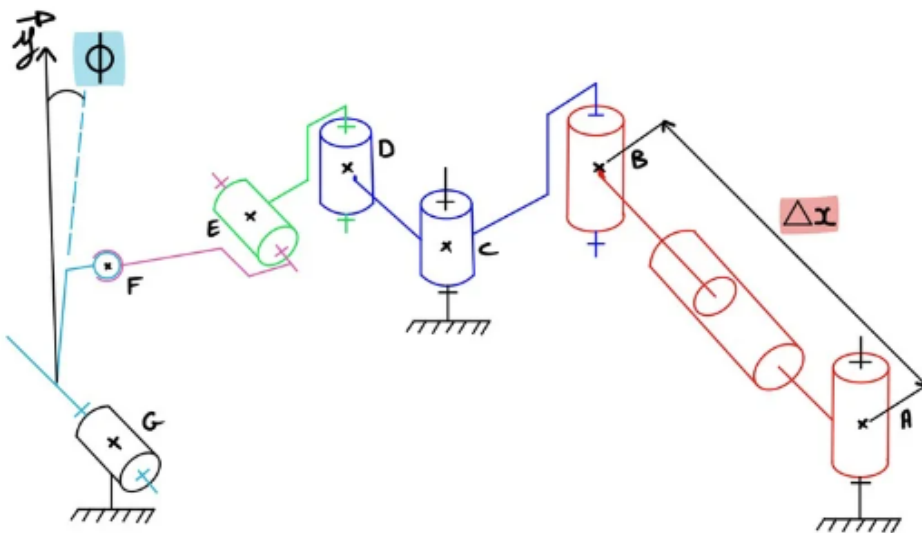


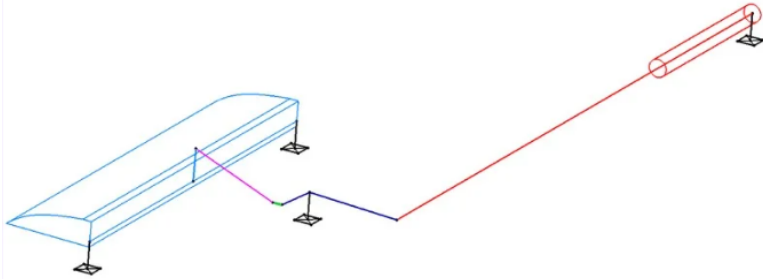
Diagramme pieuvre:



V. Schéma cinématique et squelette pilotant

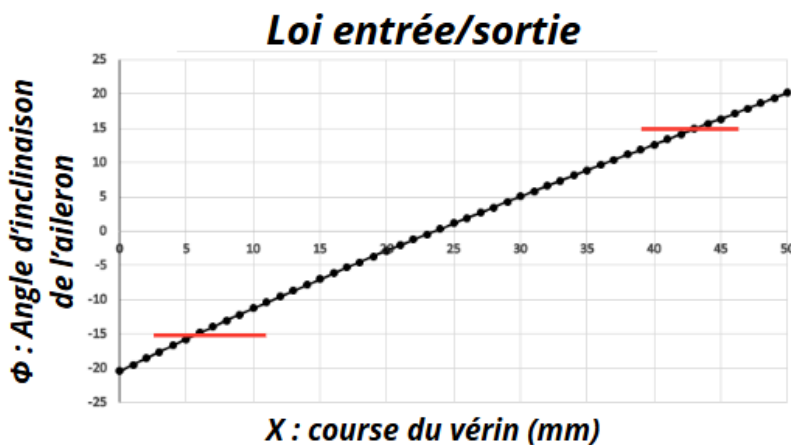


En effet, au départ, nous avons fait le choix d'un vérin électrique pour la transmission de puissance. Cette solution nous semblait évidente puisqu'il s'agit d'un mouvement de translation au départ qui serait par la suite transformé en débattement angulaire.



Nous avons donc fait notre squelette pilotant en fonction de cette solution technique afin de calculer notre loi entrée-sortie. L'entrée étant ici, la course du vérin et la sortie, l'angle de l'aileron. Ce qui nous a d'ailleurs permis d'obtenir la course du vérin nécessaire au débattement angulaire de l'aileron.

VI. Loi entrée-sortie



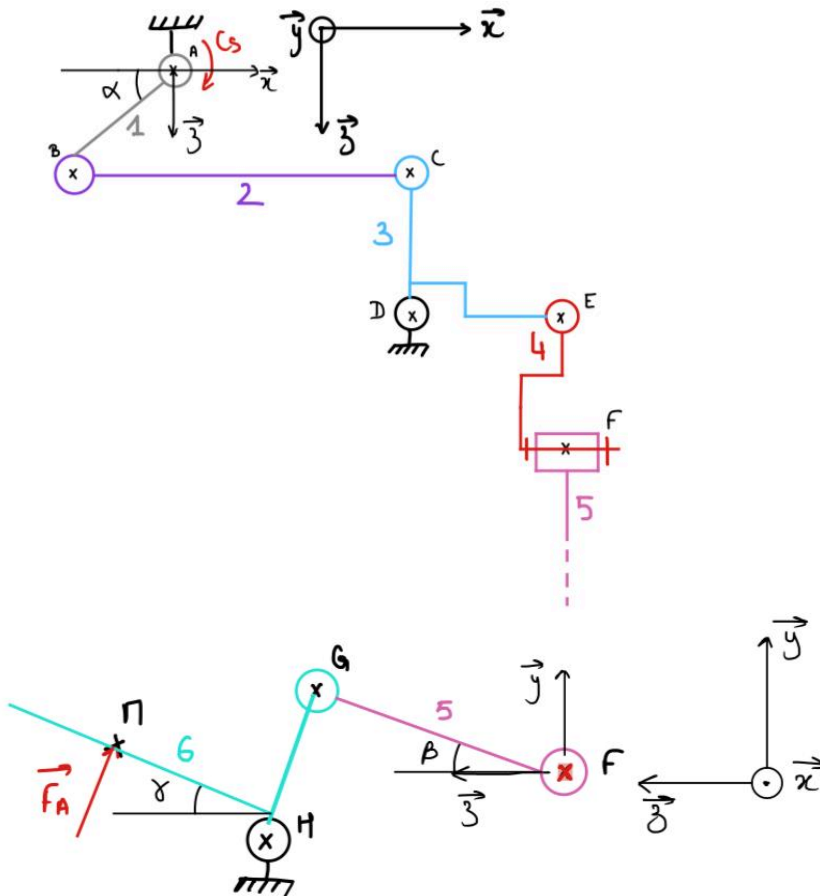
Nous remarquons ici, que la course nécessaire pour que l'aileron puisse atteindre ses positions extrêmes est de 40 mm.

Néanmoins, l'utilisation du vérin électrique pour la transmission de puissance n'est pas la solution technique qui a été retenue. Comme nous l'avons précédemment présenté lors de l'état de l'art, certaines des solutions déjà existantes pour les avions de modélisme utilisent un servo moteur qui permet de transformer la rotation du palonnier en un débattement angulaire pour l'aileron.

Le servo étant plus léger (59g pour notre modèle) et compact (40*20*40.5mm) était idéal pour notre prototype. De plus, il permet une vitesse de réaction (0.18 sec/ 60° à 4.8 Vcc) très rapide ainsi qu'une précision supérieure ce qui est essentiel pour ce type d'application. Celui-ci est également plus facile à contrôler à l'aide d'un simple programme arduino et consomme moins d'énergie.

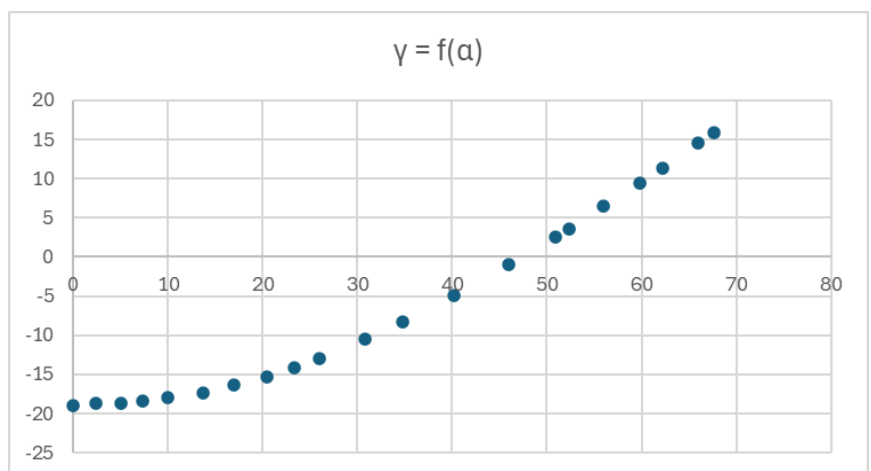


Notre système n'étant pas un problème plan, nous présentons le schéma cinématique en concordance des vues:



Le choix du servomoteur est le plus approprié à notre projet, toutefois il est primordial de s'assurer que le couple de ce dernier est suffisant.

Nous construisons un tableau à l'aide de notre CAO, nous avons donc l'angle de débattement de l'aileron γ en fonction de l'angle du servo α .



Nous faisons l'hypothèse que nous sommes en statique et qu'il n'y a pas de pertes au sein des liaisons, ce qui signifie que la puissance de sortie est égale à la puissance d'entrée.

- Puissance de sortie

- Puissance d'entrée

$$\dot{\gamma} \times F_A \times \overline{GM} = \dot{\alpha} \times C_S$$

\overline{GM} (distance entre le point d'application de F_A et le haut de l'aileron)

F_A : force aérodynamique qui s'applique sur l'aileron.

C_S : Couple du servo moteur

$$C_S = F_A \times \overline{GM} \times \frac{\frac{d\gamma}{dt}}{\frac{d\alpha}{dt}} \Leftrightarrow$$

$$C_S = F_A \times \overline{GM} \times \frac{d\gamma}{d\alpha} \Leftrightarrow \frac{d\gamma}{d\alpha} = f'(\alpha)$$

Ainsi, nous avons déterminé $\frac{d\gamma}{d\alpha} = \frac{\gamma_{i+1} - \gamma_i}{\alpha_{i+1} - \alpha_i}$

Nous calculons F_A de la manière suivante:

$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 C_L S$$

$$\begin{aligned} F_A &= \frac{1}{2} \times 1.204 \times 55.56^2 \times 1 \times 0.013 \\ &= 24.158 \text{ N} \end{aligned}$$

En appliquant la formule de C_S nous trouvons des couples largement inférieurs à 14 kg.cm = 1371.4 N.mm à 4.8 Vcc.

On prendra :

V (vitesse de l'avion) = 200 km/h = 55.56 m/s

ρ (densité de l'air) = 1,204 kg/m³ à 20 °C .

S (surface de l'aileron) = 0.013m² (mesuré sur notre modèle 3D catia)

CL (coefficient de portance) = 0.5 (correspond en général à une manœuvre modérée).

VII. Choix technologiques

a) Axes et coussinets

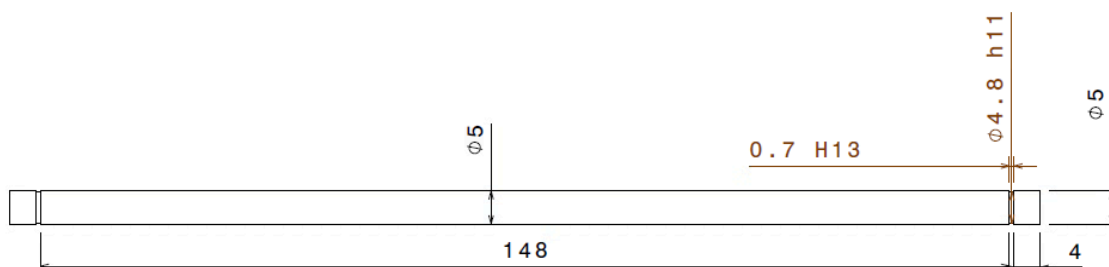
Comme nous l'avons expliqué, la transmission de puissance se fait à l'aide d'un servo moteur.

Mais cela n'est pas le seul choix technologique ayant été réfléchi et analysé.

En effet, les pivots de notre mécanisme se font par le biais d'axes auxquels nous ajoutons des coussinets en bronze afin de diminuer les frottements. Les paliers lisses n'ont pas pour unique but de réduire le coefficient de frottement.

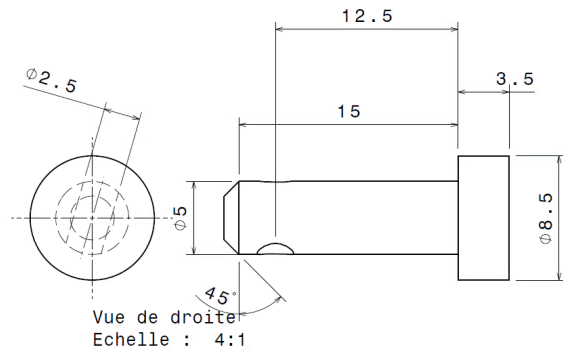
L'ajout de bagues a également pour objectif de contrôler le jeu car il s'agit de pièces standardisées. En outre, elles permettent de contrôler l'usure. Les mouvements à répétition abîment les pièces, ainsi ajouter des paliers lisses éviterait ce phénomène. Les pièces n'auraient donc plus besoin d'être changées régulièrement, ce qui permet de réduire le coût.

Les axes sont dimensionnés de façon à respecter le jeu des coussinets. L'arrêt axial de ces derniers se fait à l'aide de rondelles et de goupilles. Sauf pour les axes de l'aileron qui, quant à eux, sont arrêtés par des circlips.



L'usinage de ceux-ci s'est fait en tournage conventionnel.

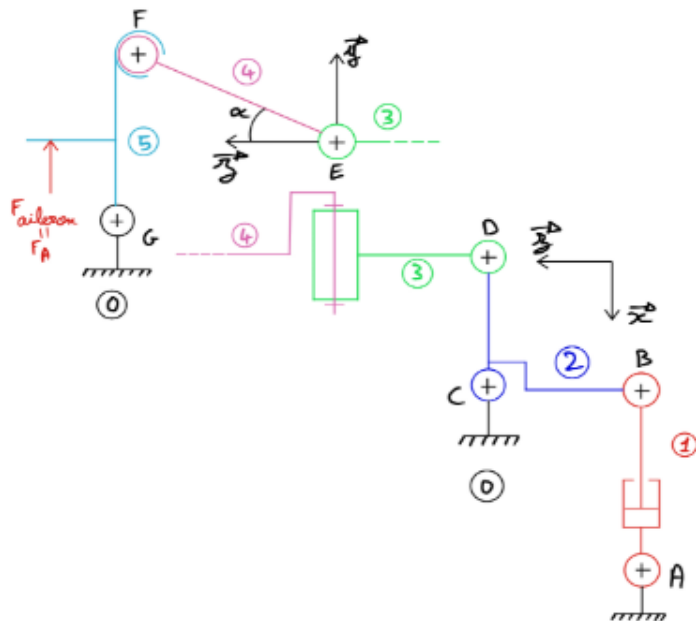
PROJET D'ETUDE DE FABRICATION PHASE 40		BUREAU DES METHODES		
Etabli par:	ELEMENT:	N°:		
Le: 10/01/2025	S/Ensemble:	Matiere: Acier		
Programme:	Ensemble:	Brut:		
Désignation:				
Machine outil: Tour RAMO				
<p>Vue de face Echelle : 3:1</p> <p>Vue de gauche Echelle : 3:1</p>				
Désignation de opérations	Outils	Paramètres de coupe		
		Vc m/min	Ap mm	f(z) mm/rev
dressage	PSSN	100	0.5	0.1
Chariotage contour eb	PCLN	100	1.5	0.2
chariotage contour fin	PCLN	100	0.3	0.1
chanfreinage	PSSN	100	0.5	



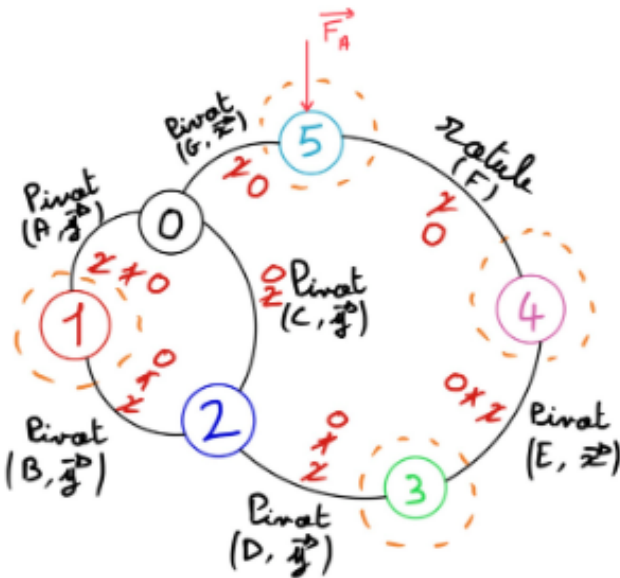
Vue de face
Echelle : 4:1

Nous allons déterminer les efforts qui s'appliquent sur la chape.

On cherche $F_{2/1}$ en fonction de $F_{aileron}$



Stratégie d'isolement :



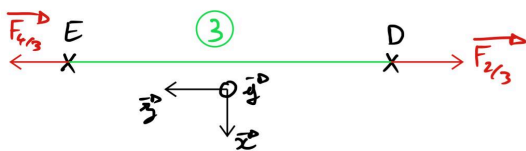
Solides soumis à 2 forces :

3, 1, 4,

Systèmes à 3 inconnues max :

5, 2,

On isole 3 :



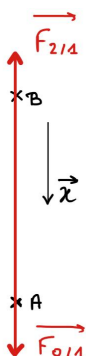
BAME :

$$\begin{aligned} \{ \mathcal{C}_{4/3} \} &= \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ F_{4/3} & 0 \end{Bmatrix}_E \\ \{ \mathcal{C}_{2/3} \} &= \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F_{2/3} & 0 \end{Bmatrix}_D \end{aligned}$$

PFS:

$$\Sigma F/z: F_{2/3} = F_{4/3} = F_{24/3}$$

On isole 1 :



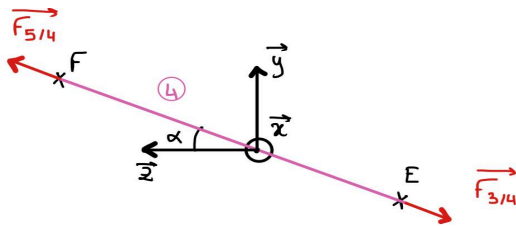
BAME :

$$\begin{aligned} \{ \mathcal{C}_{2/1} \} &= \begin{Bmatrix} -F_{2/1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_B \\ \{ \mathcal{C}_{0/1} \} &= \begin{Bmatrix} F_{0/1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A \end{aligned}$$

PFS:

$$\Sigma F/x: F_{2/1} = F_{0/1}$$

On isole 4 :



BAME :

$$\{ \mathcal{L}_{5/4} \} = \begin{Bmatrix} 0 \\ F_{5/4} \cdot \sin \alpha \\ F_{5/4} \cos \alpha \\ 0 \end{Bmatrix}_F$$

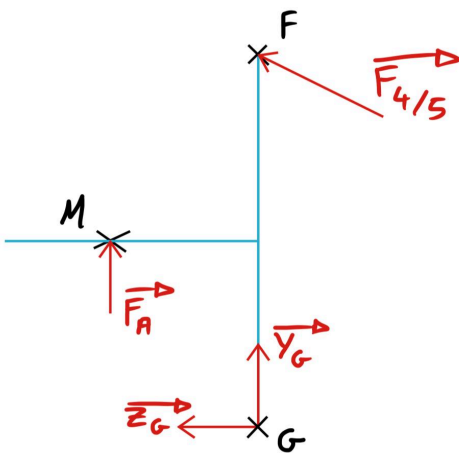
$$\{ \mathcal{L}_{3/4} \} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -F_{3/4} \sin \alpha \\ -F_{3/4} \cos \alpha \\ 0 \end{Bmatrix}_E$$

$$F_{34/4} = F_{3/4} = F_{5/4}$$

On note:

On isole 5 :

BAME :



$$\{ \mathcal{L}_{4/5} \} = \begin{Bmatrix} 0 \\ F_{4/5} \cdot \sin \alpha \\ F_{4/5} \cos \alpha \\ 0 \end{Bmatrix}_F = \begin{Bmatrix} 0 & F_{4/5} \cos \alpha H_{ai} \\ F_{4/5} \sin \alpha & 0 \\ F_{4/5} \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_G$$

$$\{ \mathcal{L}_{F_A} \} = \begin{Bmatrix} 0 \\ F_A \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}_M = \begin{Bmatrix} 0 & -\frac{1}{2} L_{ai} F \\ F_A & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_G$$

$$\{ \mathcal{L}_{0/5} \} = \begin{Bmatrix} 0 \\ Y_G \\ Z_G \\ 0 \end{Bmatrix}_G$$

$$GF = H_{ai}$$

$$MG = \frac{1}{2} \times L_{ai} z - \frac{1}{2} \times H_{ai} y$$

PFS:

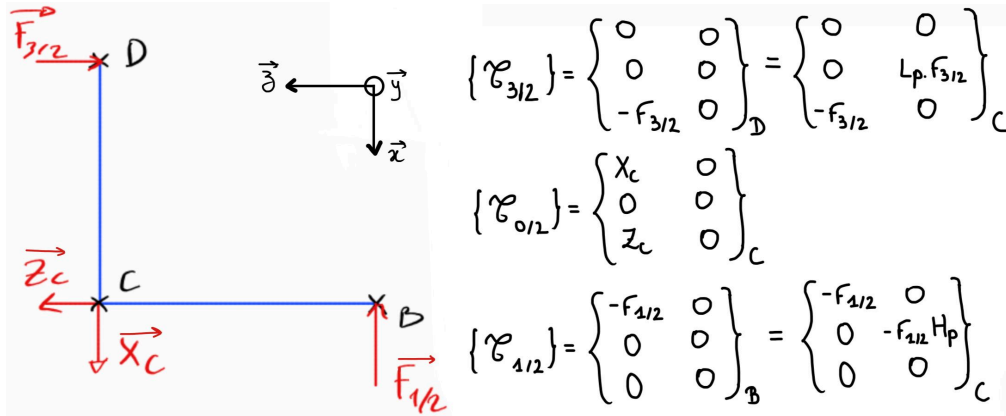
$$\Sigma M/x: F_{4/5} \times \cos \alpha \times H_{ai} - \frac{1}{2} \times L_{ai} \times F_A = 0$$

$$\Leftrightarrow F_{4/5} = \frac{L_{ai} \times F_A}{2 \times \cos \alpha \times H_{ai}}$$

Y_G et Z_G ne sont pas utiles dans notre cas.

On isole 2:

BAME :



$$CD = L_p \quad CB = H_p$$

PFS:

$$\Sigma M/y: F_{3/2} - F_{1/2} \times H_p = 0$$

$$\Leftrightarrow F_{1/2} = \frac{L_p \times F_{3/2}}{H_p}$$

$$\Sigma F/x: X_c - F_{1/2} = 0 \Leftrightarrow X_c = F_{1/2}$$

$$\Sigma F/z: Z_c - F_{3/2} = 0 \Leftrightarrow Z_c = F_{3/2}$$

$$\Sigma M/y: F_{3/2} - F_{1/2} \times H_p = 0$$

$$F_{1/2} = \frac{L_p \times F_{3/2}}{H_p}$$

$$\text{D'où } Z_c = \frac{L_{\text{aileron}} \times F_A}{2 \times \cos \alpha \times H_p} \text{ et } X_c = \frac{L_p \times L_{\text{aileron}} \times F_A}{2 \times \cos \alpha \times H_p \times H_{\text{aileron}}} \text{ avec } F_{1/2} : \text{ Force du vérin}$$

L_p : Longueur de la pièce pivot

H_p : Hauteur de la pièce pivot

F_A : Force de l'air sur l'aileron

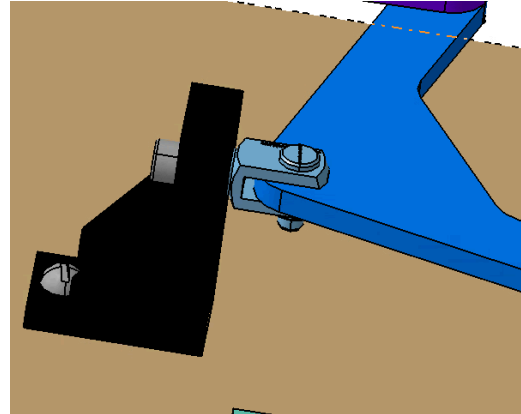
$$Z_c = 61 \text{ N}$$

$$X_c = 85 \text{ N}$$

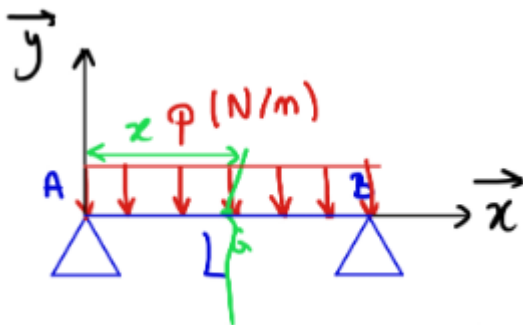
b) Chape

Nous avons décidé de mettre une chape à cet endroit puisqu'il s'agit de la pivot qui prend le plus d'efforts.

Cependant l'axe de la chape doit être dimensionné en cisaillement et en matage.



Dimensionnement au cisaillement de l'axe de la chape (en Statique):



PFS:

$$\Sigma M/z: L \times Y_B - \frac{p}{2} \times L^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow Y_B = \frac{p}{2} \times L$$

$$\Sigma F/y: Y_A + Y_B - p \times L = 0$$

$$\Leftrightarrow Y_A = \frac{p \times L}{2}$$

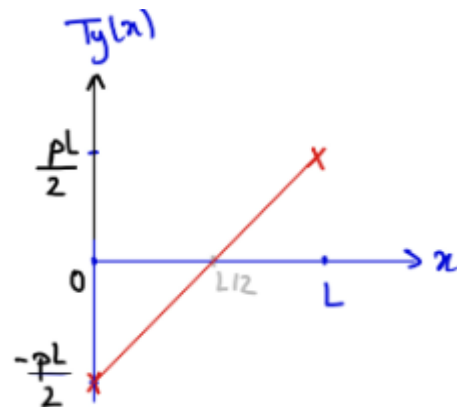
$$\text{D'où: } T_y(x) = Y_B - p(L - x)$$

BAME:

$$\{\tau_A\} = \begin{Bmatrix} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{A,R}$$

$$\{\tau_B\} = \begin{Bmatrix} X_B & 0 \\ Y_B & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{B,R} = \begin{Bmatrix} X_B & 0 \\ Y_B & 0 \\ 0 & LY_A \end{Bmatrix}_{A,R}$$

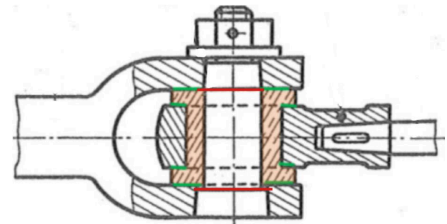
$$\{\tau_p\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -pL & 0 \\ 0 & -\frac{p}{2}L^2 \end{Bmatrix}_{A,K}$$



Nous nous plaçons dans le cas où nous avons un acier de bas de gamme (S235) dans le but de prendre le scénario le plus contraignant.

Cela nous donne donc un $Re = 180 \text{ MPa}$.

Etant donné que nous avons une bague de frottement autour de l'axe, la force qui s'applique sur ce dernier est considérée comme étant une charge répartie sur la longueur de l'axe .



Nous nous servons des résultats obtenus préalablement au PFS :

$$Z_c = 61 \text{ N}$$

$$X_c = 85 \text{ N}$$

Pour avoir la valeur de la charge répartie p en N/mm, nous prendrons le résultat le plus

grand: $X_c = 85 \text{ N}$. D'où: $p = \frac{X_c}{L}$ avec $L = 7.5 \text{ mm}$

$$= \frac{85}{7,5}$$

$$= 11.33 \text{ N/mm}$$

On sait que que: $\tau_{moy} = \frac{T_y}{S}$

$$\tau_{maxi} = \tau_{moy} \times k_F$$

$$\tau_{maxi} = \frac{T_y}{S} \times \frac{4}{3} \leq \tau_{adm}$$

Or: $\tau_{adm}(\text{acier}) = \frac{R_{pc}}{k_s}$ avec $R_{pc} = \frac{R_e}{2}$

On prend $k_s = 2$

$$\tau_{adm} (acier) = \frac{\frac{180}{2}}{2} = 45 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Finalement: } \tau_{maxi} &= \frac{(p \times L - \frac{p \times L}{2}) \times 4}{\pi \times d^2} \leq 45 \text{ MPa} \\ \Leftrightarrow \frac{2 \times p \times L}{\pi \times d^2} &\leq 45 \text{ MPa} \\ \Leftrightarrow d_{mini} &\geq \sqrt{\frac{2 \times p \times L}{45 \times \pi}} \\ \Leftrightarrow d_{mini} &\geq \sqrt{\frac{2 \times 11.33 \times 7.5}{45 \times \pi}} \\ \Leftrightarrow d_{mini} &\geq 1.09 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dimensionnement au matage de l'axe de la chape (en Statique):

(Calculs approximatifs: sans prendre en compte les pressions de Hertz)

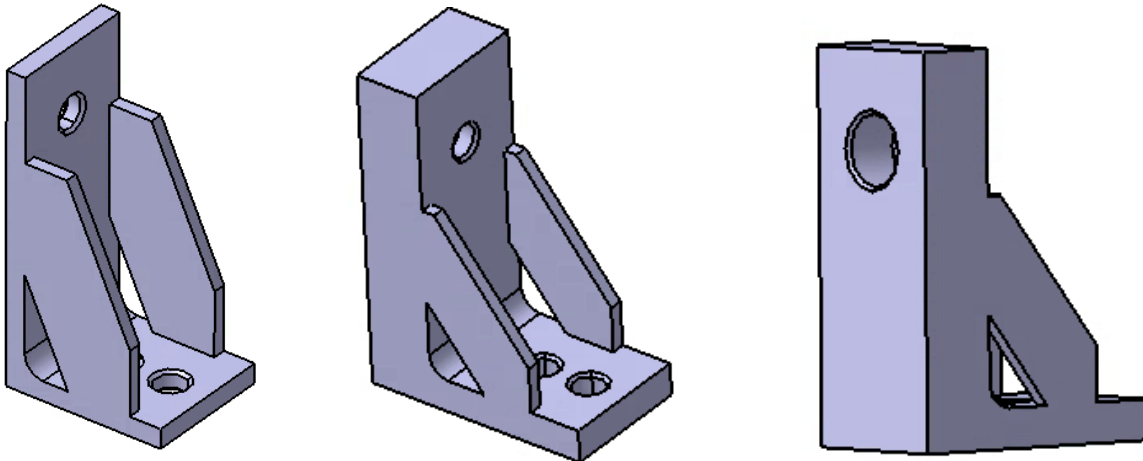
$$\begin{aligned} \sigma_{mat} = \frac{T_y}{S} &\leq \rho_{adm} & \text{On prend: } \rho_{adm} &= \frac{R_e}{2} \\ \Leftrightarrow \frac{(p \times L - \frac{p \times L}{2})}{L \times d} &\leq \rho_{adm} & &= \frac{180}{2} \\ \Leftrightarrow d_{mini} &\geq \sqrt{\frac{11.33}{2 \times 90}} & &= 90 \text{ MPa} \\ \Leftrightarrow d_{mini} &\geq 0.06 \text{ mm} \end{aligned}$$

En conclusion, nous prendrons un diamètre d'axe de 5 mm car il est important de garder à l'esprit qu'il s'agit de dimensionnements fait dans le cas où nous nous trouvons en statique, or cela n'est pas forcément représentatif de la réalité. C'est pourquoi, nous prenons un diamètre d'axe beaucoup plus élevé. Ainsi, nous sommes certains que notre axe résistera dans des conditions réelles.

Le schéma cinématique n'est plus le même puisque la transmission de puissance a été modifiée. Néanmoins, lors du dimensionnement des axes, le coefficient de sécurité qui a été pris est très élevé. Nous n'avons donc pas besoin de refaire les calculs puisque le diamètre de l'axe choisi est largement supérieur à celui calculé.

c) Supports

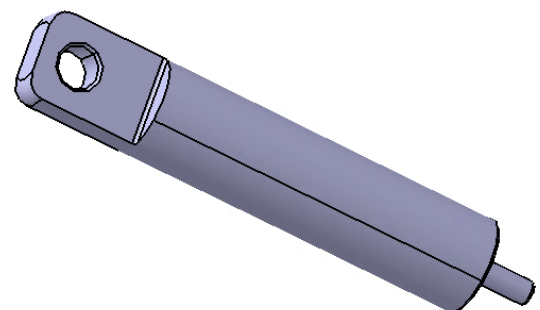
Les supports ont été conçus pour être mécano soudés. Ces derniers nécessitent des opérations de découpe, pliage, soudage et perçage.

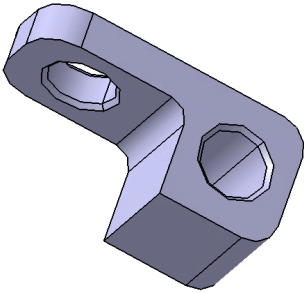


Le support de la chape est plus épais ce qui permet à celle-ci de s'encaster dans le perçage afin de ne pas être en porte à faux.

d) Pièces

Dans le cadre du prototype, les pièces ont été réalisées en impression 3D ou en découpe laser. Toutefois, les formes ainsi que leur dimensions ont été pensées pour que celles-ci puisse être usinées.



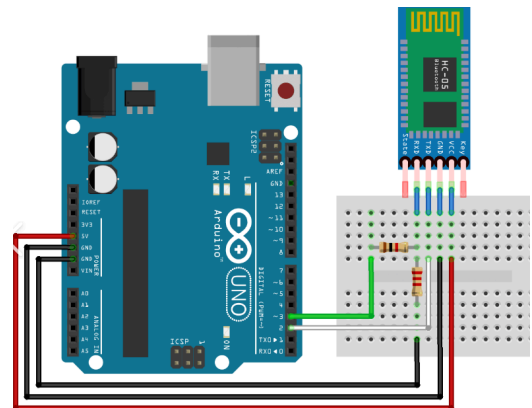


Par conséquent, le rayon des outils à été pris en compte car en usinage, il n'est pas possible d'obtenir d'angles droits. De plus, des chanfreins ont été réalisés sur chaque perçage pour permettre au système d'être le plus conforme possible à la réalité.

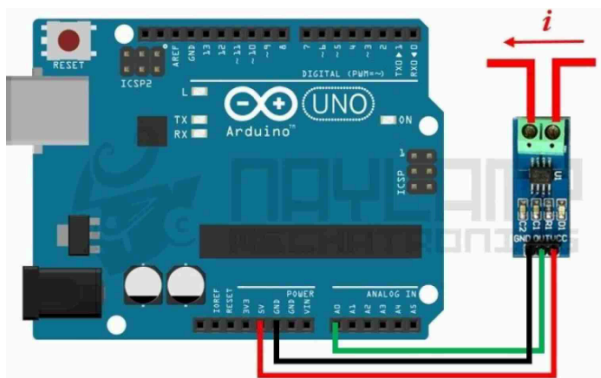
VIII. Programmation

Le pilotage de notre servo moteur se fait à l'aide d'une programmation arduino. Des fonctionnalités ont été ajoutées à cela.

Le mécanisme est piloté par bluetooth à l'aide d'un module HC-05, il suffit d'envoyer 1 pour mettre en marche le servo et 0 pour l'arrêter.



Nous disposons également d'un écran LCD qui affichera l'état du servo, l'angle de rotation du servo, l'angle de débattement de l'aileron, la vitesse du potentiomètre (qui permet de faire varier la vitesse du servomoteur), ...



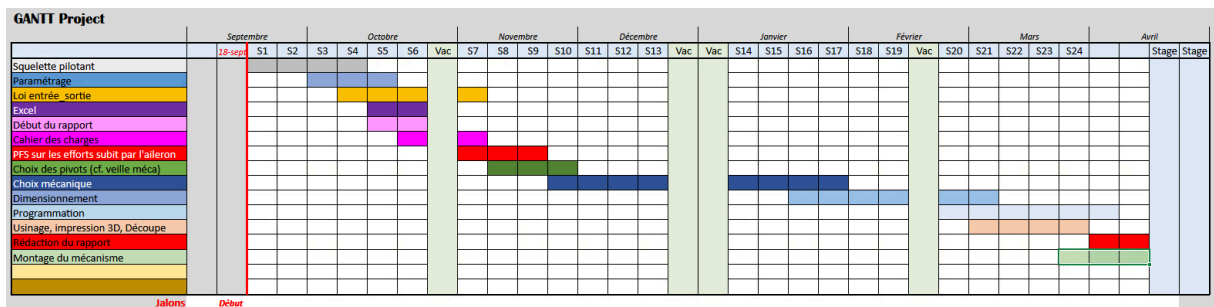
Nous retrouvons également un capteur d'intensité ACS712 5A qui est branché en série avec le servo. Nous imposerons un seuil de surcharge dans le code, pour qu'un buzzer puisse se déclencher de façon simultanée avec une lumière rouge afin d'indiquer une surcharge. De plus, cette dernière sera affichée sur l'écran.

Le mécanisme se compose également d'une bande led qui permet de donner l'état du servo. Celle-ci s'allume en bleu lorsque ce dernier est à l'arrêt, en vert lorsqu'il est en marche, en rouge lorsqu'une surcharge est détectée et en jaune lorsque le code de sécurité a été envoyé suite à la détection de la surcharge.

La loi entrée-sortie a également été entrée dans le programme afin de permettre un système de renvoi d'angles. Nous aurons la possibilité d'envoyer l'angle de l'aileron souhaité (-15° à +15°) et le servo se positionne de manière automatique à la valeur correspondante.

IX. Organisation

Pour suivre l'avancée de notre travail, il a fallu établir un diagramme de Gantt afin de déterminer si nous étions dans les temps. Cela nous a donc permis de gérer les différentes étapes de notre projet tout au long de l'année. Le Gantt a pour but de nous donner une vision d'ensemble afin de mieux visualiser nos objectifs.



X. Conclusion

Finalement, le projet est basé sur une partie programmation qui permet de piloter le servo moteur afin de transmettre la puissance au reste du mécanisme, avec d'autres fonctionnalités. Cependant, la partie la plus importante reste la partie mécanique dans laquelle, nous avons dimensionné, produit, usiné, imprimé, et découpé les pièces en nous basant sur des choix mécaniques et technologiques réfléchis.