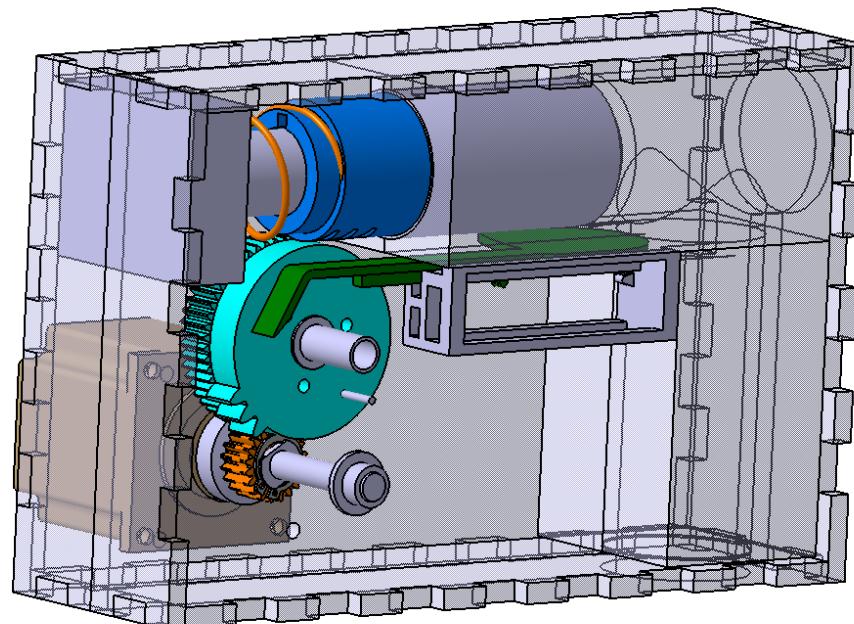


Rapport de Projet 2eme année

Parcours Innovation pour l'Industrie

Prototypage d'un lanceur de balle de pingpong.



- Ferry BORDES--AUDUMARES
- MUHAMMAD Alif YAHYA
- Allan EYME

Sommaire

I - Introduction et mise en situation.....	3
II - Phase de vie du produit.....	3
III - Etat de l'art.....	3
IV - Analyse fonctionnelle.....	6
V - Analyse cinématique	8
VI - Notice de calculs	9
A) Squelette pilotant	9
B) Loi entrée-sortie	11
C) Chambre-Piston - Ressort.....	13
D) Bielle	18
E) Train d'engrenage.....	19
F) Carter	23
VII - Conception.....	26
A) Engrenages	26
C) Piston.....	28
B) Guide ressort	31
C) Axe moteur	32
D) Bielle	34
E) Carter	34
F) Assemblage	36
G) Orientation.....	36
VIII - Fabrication.....	39
A) Train d'engrenage	39
B) Carter.....	43
C) Piston-Crémaillère	44
D) Chambre piston	45
E) Bielle.....	45
F) Orientation	45
IX - Programmation motorisation	48
X - Bilan et perspectives	51

XI - Annexes.....	52
-------------------	----

I - Introduction et mise en situation

La pratique du ping-pong en solitaire est compliquée et peut restreindre la progression des joueurs. De ce fait découle un besoin d'automatisation du matériel d'entraînement.

Notre objectif est de créer un prototype de lanceur de balles de ping-pong automatique à travers l'innovation et l'amélioration de systèmes existant.

Afin de créer ce produit, nous prendrons en compte différents paramètres d'utilisation, de conception et de production.

Ce rapport présente les différentes étapes par lesquelles nous sommes passés pour produire notre prototype.

Il est accompagné d'une présentation orale, d'un diaporama ainsi que le prototype en lui même

II - Phase de vie du produit

Nous pouvons identifier 4 principales phases de vie de notre produit.

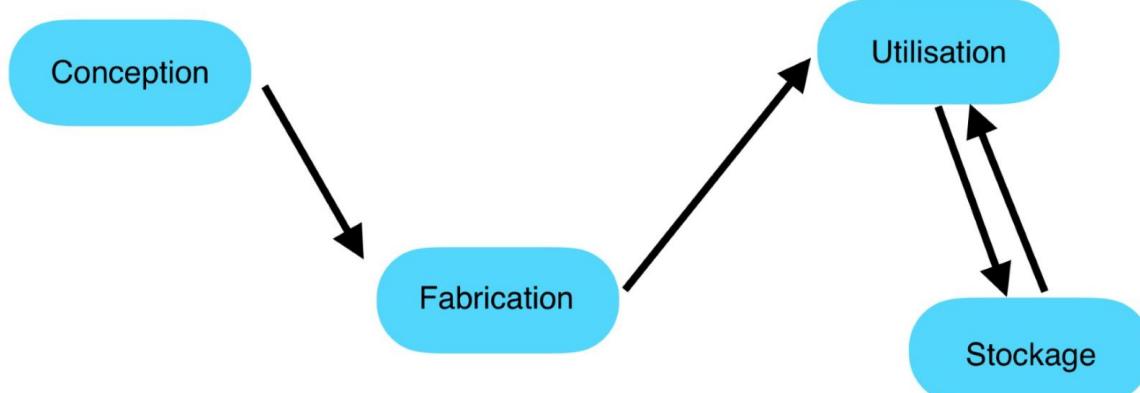


Figure 1 : Phase de vie produit

III - Etat de l'art

Dans le domaine des lanceurs de balles il existe plusieurs types de systèmes plus ou moins performants et plus ou moins adaptés à certain type de sport.

Nous avons pu relever que la solution la plus utilisée par les industriels est un système d'éjection de balle par friction avec des rouleaux en rotation :

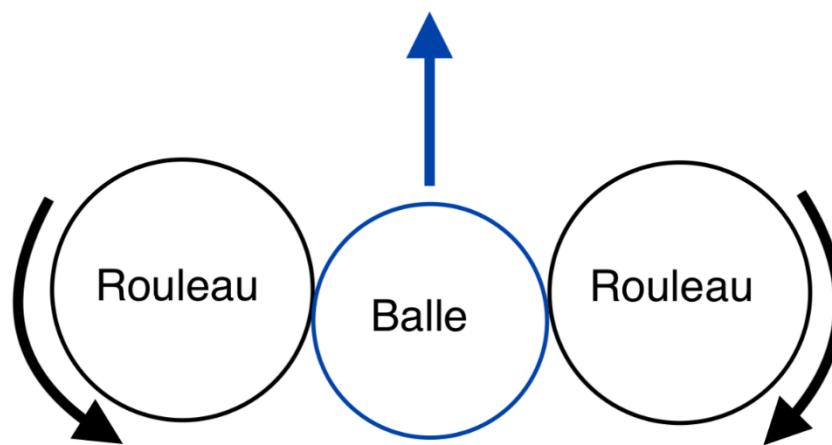


Figure 2 : Fonctionnement lanceur à rouleau

Certains systèmes peuvent mettre en œuvre plusieurs rouleaux, jusqu'à quatre, pour une meilleure efficacité.

Ci-après deux exemples de produits utilisant ce système :

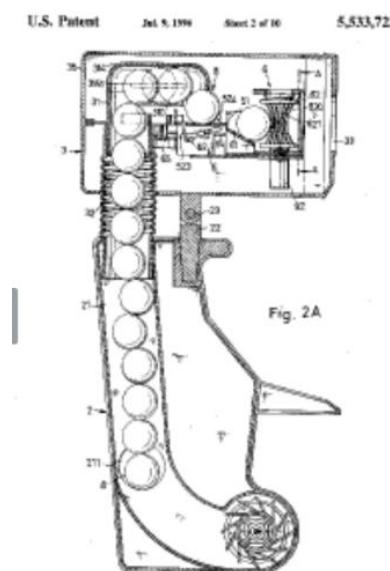


Figure 3 : Lanceur à rouleau type 1

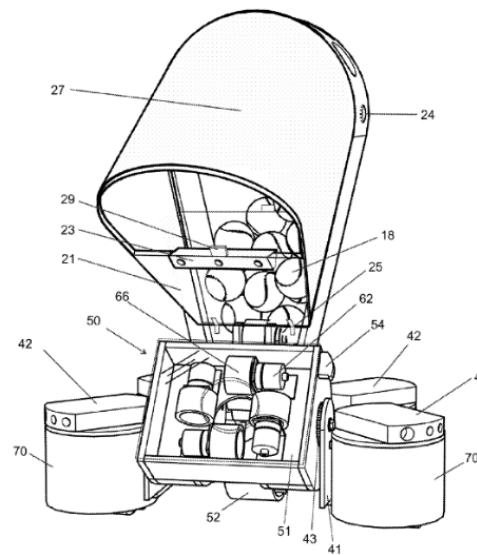


Figure 4 : Lanceur à rouleau type 2

Nous nous sommes également intéressés à d'autres types de lanceurs de balles, notamment aux systèmes utilisés dans les sports de tir tel que l'airsoft. En effet ces systèmes utilisent la plupart du temps le principe de compression de l'air pour éjecter la balle du canon.

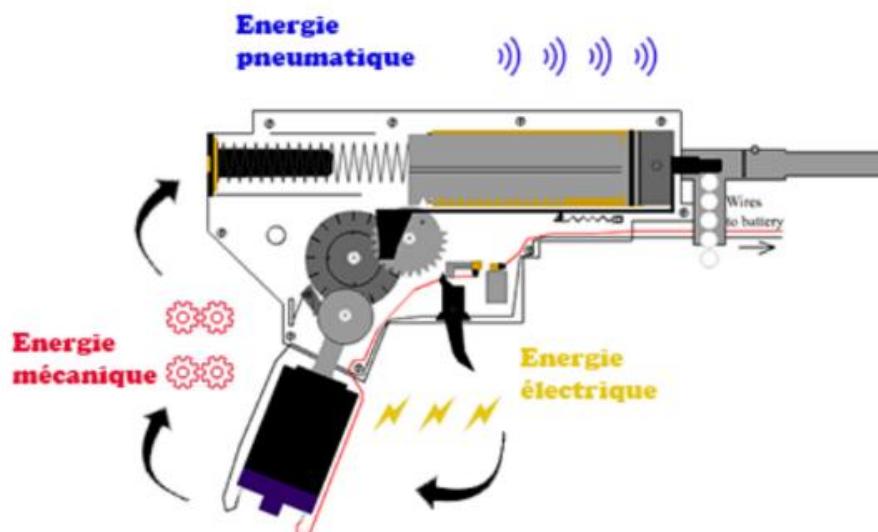


Figure 5 : Fonctionnement gear-box Airsoft

Ces systèmes présentent deux avantages majeurs :

- Encombrement minime
- Pas de friction avec les balles

Afin d'innover et d'apporter une nouvelle solution sur le marché des lanceurs de balle nous décidons donc de nous inspirer des systèmes utilisés dans armes.

Adapter ce système aux balles de ping-pong nous permettrait de répondre aux attentes des joueurs voulant s'entraîner. Nous voulons développer une machine minimisant l'encombrement et maximisant la cadence de tir.

IV - Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle nous permet de déterminer les milieux extérieurs en interaction avec notre système. Nous avons sélectionné les éléments les plus importants et les plus essentiels afin de rendre le projet réalisable mais de ne pas complexifier le cahier des charges.

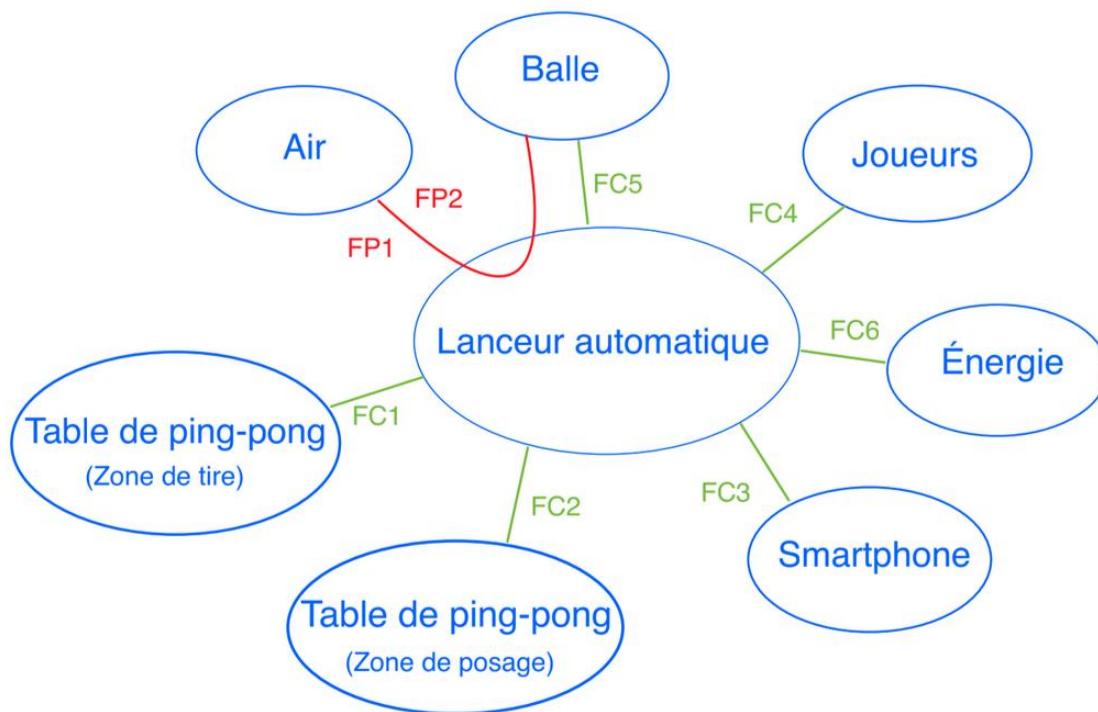


Figure 6 : Diagramme pieuvre

Les intervenants extérieurs nous permettent de déterminer des fonctions principales ainsi que des fonctions contraintes. Ces fonctions permettent de déterminer des conditions initiales pour pouvoir dimensionner le système.

Fonction	Description	Critère	Niveau
FP1	Le lanceur doit pouvoir lancer des balles à une vitesse définie	Vitesse	80 km/h
FP2	Le lanceur doit pouvoir envoyer des balles à une cadence de tire définie	Cadence	20 balles/min 25 balles/min 30 balles/min
FC1	Le lanceur doit tirer à une distance définie	Distance de tire	137cm< d < 274cm
FC2	Le lanceur doit se maintenir en position durant l'utilisation	Mise en position	DDL=0
FC3	Le choix de la cadence de tire doit être opérable à distance via un smartphone	Contrôle à distance sans fil	10m
FC4	Le lanceur doit être transportable à la main	Encombrement	Compris dans un prisme : 40x30x30 mm
FC5	Le lanceur doit accueillir les balles de ping-pong	Dimension projectile	Ø40 mm
FC6	Le lanceur doit être alimenté par une énergie électrique	Motorisation	Moteur électrique

Figure 7 : Cahier des charges

V - Analyse cinématique

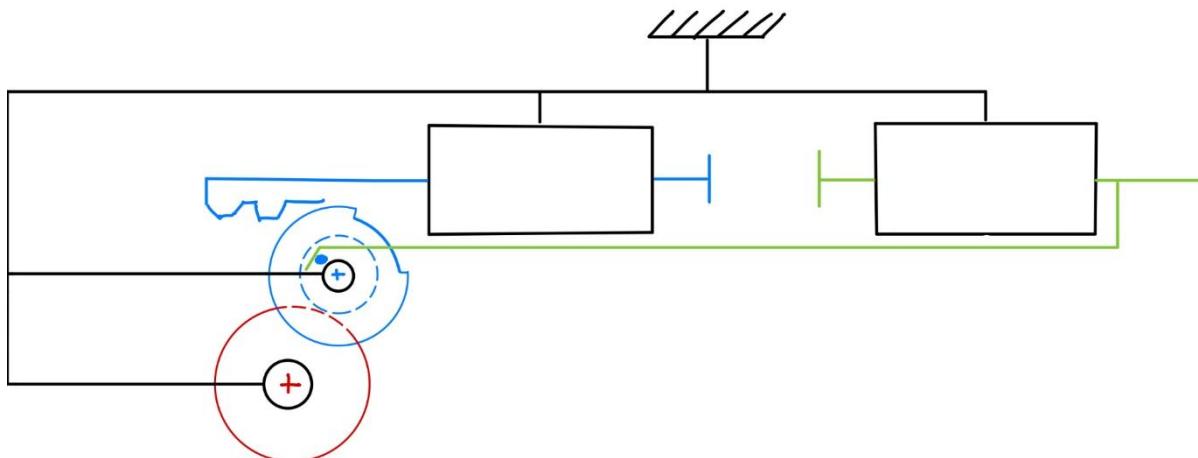


Figure 8 : Schéma cinématique

Ce schéma est à la fois utile pour nous représenter le système mais également pour dimensionner les pièces qui le compose.

Pour simplifier le dimensionnement nous avons modélisé un squelette pilotant dans CATIA en nommant et associant des paramètres de distance. Ces paramètres sont modifiables via une feuille de calcul EXEL. Nous pouvons maintenant dimensionner chaque partie du système en fonction des conditions initiales puis rentrer les dimensions déterminées dans la feuille de calcul EXEL.

La roue rouge est entraînée directement par le moteur, elle engrène sur une roue bleue qui entraîne l'ensemble roue bleue.

Cet ensemble roue bleue est décomposé en 2 fonctionnalités cinématiques en plus du contact avec la roue rouge :

- Came : permet translation de la bielle (verte) afin de
- Fermer le chargeur lors de phase de tir pour éviter que l'air ne s'y perde.
- Laisser passer la balle en dehors de la phase de tir.

- Roue partiellement dentée (roue grand diamètre) : s'engraine sur le piston crémaillère (bleu) avec la section dentée de la roue, piston qui comprime le ressort qui stock l'énergie (jaune) puis la relâche très rapidement lorsque la section dentée est finie. Ainsi le piston crémaillère translate dans l'autre sens, comprime l'air et l'envoie sur la balle.

Le cycle se répète pour chaque tour de l'ensemble roue bleue.

VI - Notice de calculs

A) Squelette pilotant

Lors de la conception, nous sommes d'abord passé par un squelette pilotant dimensionné sur Catia en 2D afin de déterminer chaque longueur de notre système aux épaisseurs près.

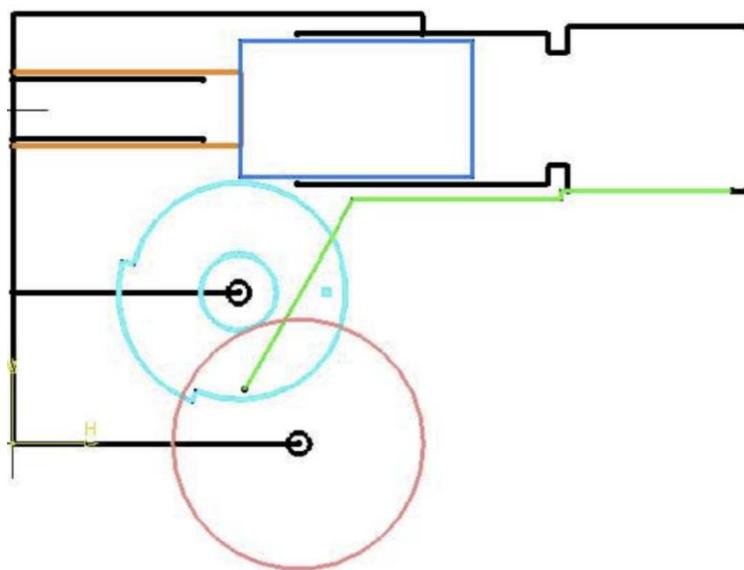


Figure 9 : Squelette pilotant

Ce squelette pilotant permet de lier chacune des côtes du système, ainsi si on a besoin de changer une cote car les contraintes initiales ont changées, le reste du mécanisme s'adapte sans avoir à faire quoi que ce soit.

Nous avons alors décomposé notre système comme le décrit la figure suivante :

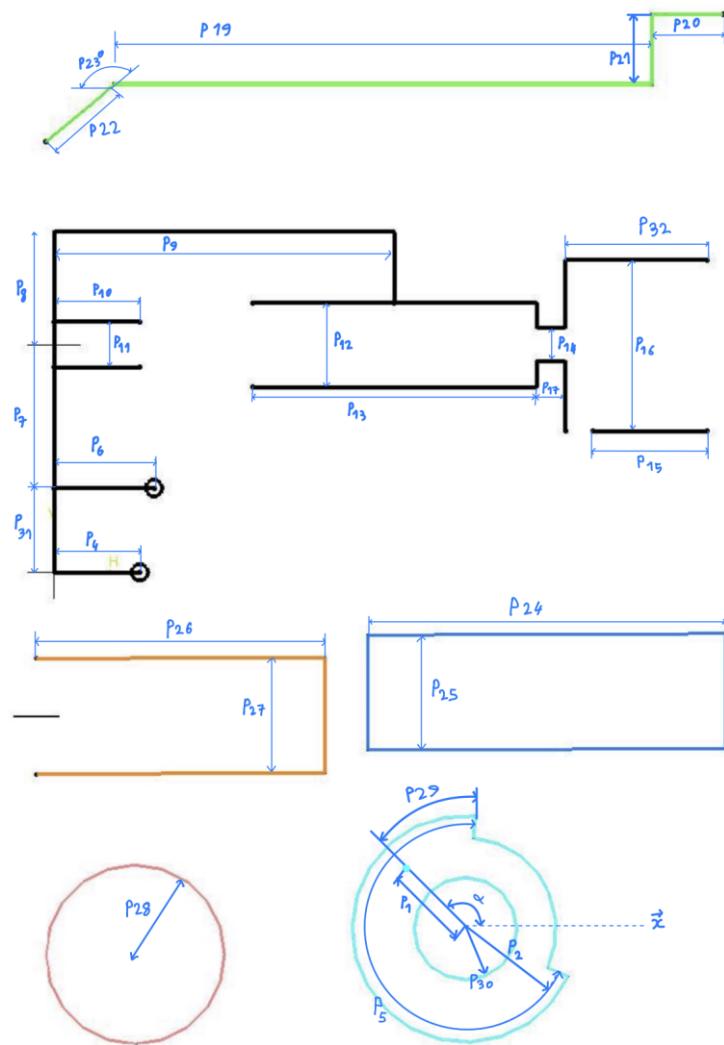


Figure 10 : Décomposition squelette pilotant

Pour déterminer les cotes, que nous appelons paramétrées, nous utilisons la méthode de fermeture cinématique.

B) Loi entrée-sortie

Notre système est régi par deux lois d'entrée sortie :

- Déplacement bielle :

Permet de transformer la rotation du moteur en translation de la bielle.

Ainsi la loi entrée-sortie donne un déplacement fonction d'un angle.

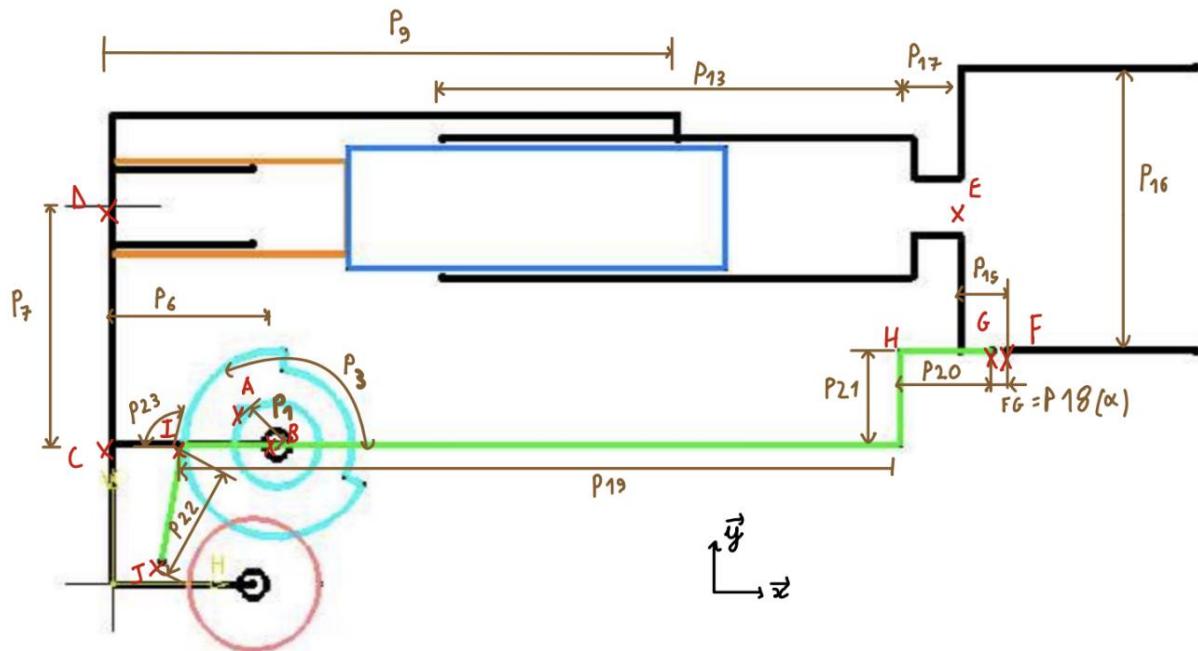


Figure 11 : Fermeture cinématique loi entrée-sortie bielle

On considère A et J en contact, puis appliquons la fermeture cinématique.

$$\overrightarrow{AJ} = 0$$

$$\Rightarrow \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FG} + \overrightarrow{GH} + \overrightarrow{HI} + \overrightarrow{IJ} = \vec{0}$$

$$\Rightarrow \begin{vmatrix} -\cos(\alpha) * P1 & P13 \\ -\sin(\alpha) * P1 & P17 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} P9 + \frac{P13}{2} & P17 \\ 0 & P16 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} P32 - P15 & P18(\alpha) \\ 0 & P20 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -P18(\alpha) & P21 \\ 0 & P19 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \cos(P23) * P21 & P21 \\ -\sin(P23) * P21 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} -\cos(\alpha) * P1 - P6 + P9 + \frac{P13}{2} + P17 + P32 - P15 - P18(\alpha) - P19 - P20 + \cos(P23) * P22(\alpha) = 0 & (1) \\ -\sin(\alpha) * P1 + P7 - \frac{P16}{2} - P21 - \sin(P23) * P22(\alpha) = 0 & (2) \end{cases}$$

$$\textcircled{2} P22(\alpha) = \frac{P7 - \sin(\alpha) * P1 - \frac{P16}{2} - P21}{\sin(P23)}$$

$$\textcircled{1} P18(\alpha) = P9 - \cos(\alpha) * P1 - P6 + \frac{P13}{2} + P17 + P32 - P15 - P19 - P20 + \cos(P23) * P22(\alpha)$$

Avec $P_3 = \alpha$, $P_{18}(\alpha)$ le déplacement de la bielle et $P_{22}(\alpha)$ la longueur entre le point de contact de la came et le point I (fixe sur la bielle).

- Déplacement piston.

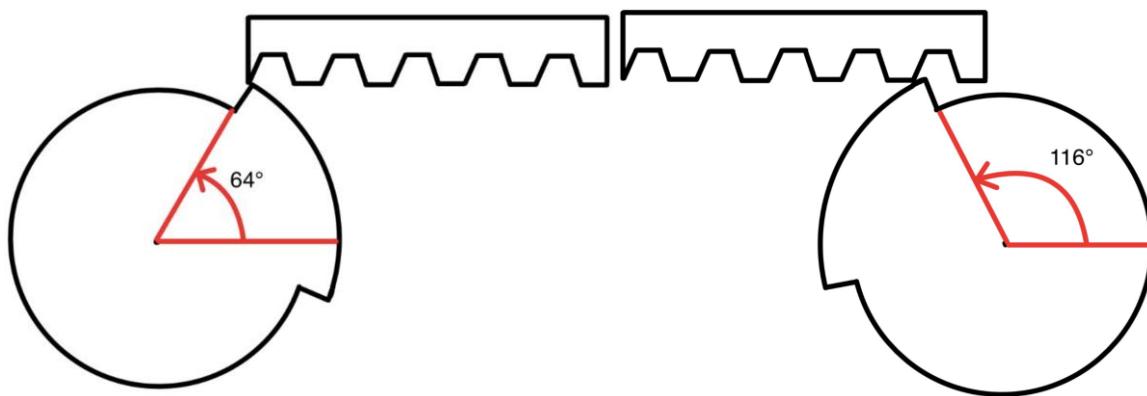


Figure 12 : Angle début/fin engrenage

A l'aide de mesure sur des tests réalisés sur des pièces imprimé en 3D, nous avons observé que l'angle de début d'engrainement est de 64° et celui de fin lui est symétrique par rapport à 90° , c'est 116° .

L'angle utilisé dans chacun des calculs est l'angle α . Un angle θ a été créé fonction de α . Cet angle θ représente l'angle de portion de roue qui est engrené sur le piston.

$$\Theta(\alpha) = (\alpha - P_{29} + P_5) - \text{Angle début crémaillère}$$

Nous pouvons maintenant utiliser cet angle pour décrire la position du piston crémaillère.

$\Theta(\alpha)$ renvoie toujours une valeur $\neq 0$ car il représente l'angle comme si la roue était dentée sur 360° ($\Leftrightarrow P_5=360^\circ$), mais comme nous le montrerons plus tard dans le rapport, ce n'est pas le cas, en utilisant la valeur de P_5 que nous calculerons ultérieurement, en utilisant la formule qui lit l'angle et le rayon pour donner la circonférence partielle, on peut dire que

$$\text{Si } \theta(\alpha) \in [2k\pi; P_5 + 2k\pi], \quad h \in \mathbb{Z} \quad : \quad P_{26}(\alpha) = P_{26_{max}} - P_2 \cdot \theta(\alpha)$$

$$\text{Sinon} \quad : \quad P_{26} = P_{26_{max}}$$

Avec $P_{26}(\alpha)$ la longueur du ressort en fonction de α et $P_{26_{max}}$ la longueur la vide du ressort.

Ainsi la loi d'entrée-sortie :

$$\text{LES_piston} = \text{P26max} - \text{P26}(\alpha)$$

En utilisant Excel et la fonction SI pour discréteriser $\Theta(\alpha)$ en fonction de l'intervalle, on obtient le graphique des loi entrée sortie.

Bien évidemment, ce graphique dépend des paramètres du squelette pilotant que nous allons déterminer ultérieurement dans le rapport.

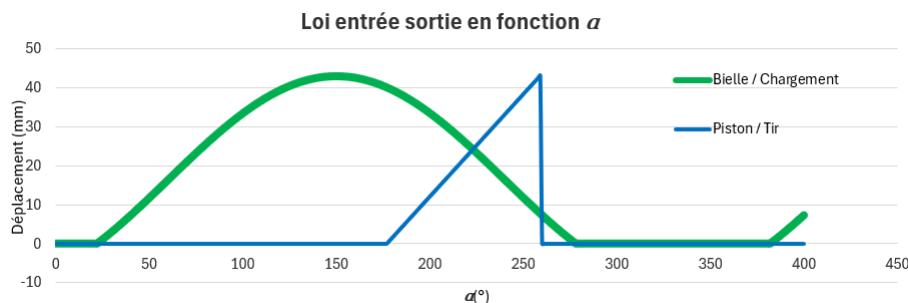


Figure 13 : Graphique loi entrée-sortie

Nous pouvons observer que le tir se fait à $\alpha = 260^\circ$ et au moment où la bielle “ferme le chargeur” (chargement $\approx 0\text{mm}$), également, le chargement dépasse 40mm (\varnothing balle) donc la balle peut passer.

C) Chambre-Piston - Ressort

Afin de concevoir notre système, nous avons besoins de déterminer des dimensions de départ.

Nous avons dans un premier temps penser à utiliser un rapport de proportionnalité entre la dimension des balles utilisé en airsoft et la dimension des balles utilisé dans le ping-pong. Nous pourrions ensuite appliquer ce rapport sur les pièces du système d'airsoft pour obtenir les dimensions de notre système.

Grâce à un modèle CAO à taille réelle que nous avons récupéré sur internet nous relevons la valeur du diamètre du piston afin de lui appliquer le rapport.

$$\text{Rapport } R = \frac{40}{6} = 6.667$$

	Airsoft	Ping-pong
\varnothing balle	6mm	40mm
\varnothing piston	19,8mm	132mm

Cependant les dimensions que nous devrions appliquer à notre système (\varnothing piston=132mm) seraient trop élevées et ne correspondraient pas à notre objectif de minimiser l'encombrement.

Nous séparons le tir en 4 phases

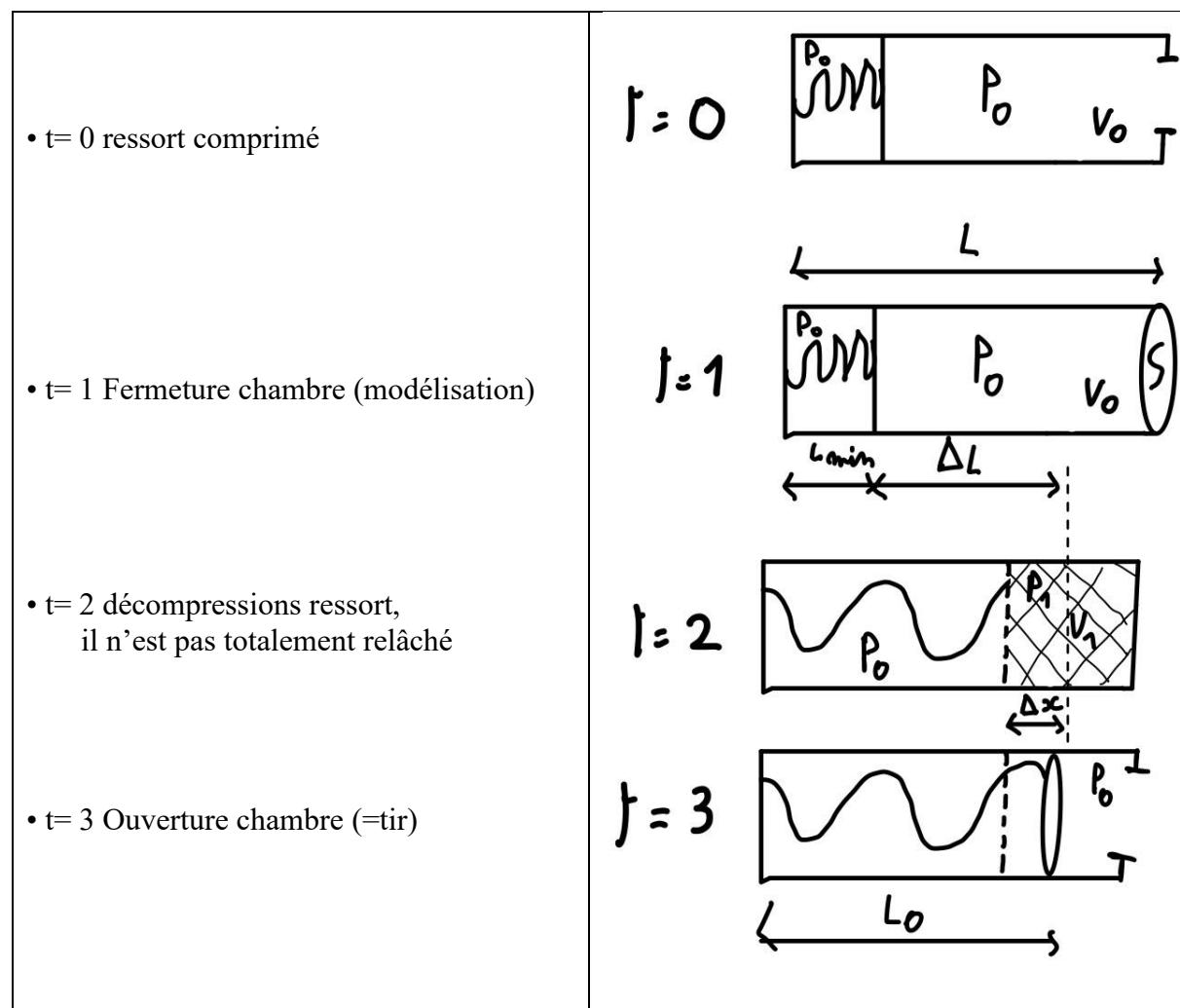


Figure 14 : Différente étape du tir

On sait que l'énergie nécessaire pour respecter la vitesse de balle du cahier des charges est

$$E_{\text{balle}} = 1/2 m v^2 (\text{Kg et m/s}) = 0,667 \text{ J}$$

On veut un coefficient de sécurité de 10 pour notre énergie ressort car nos calculs ont été fait par modélisation quasi statique alors qu'ils auraient dû être faits en dynamique mais nous ne savons pas faire, de plus nos calculs ne prennent pas en compte les frottements.

Nous avons trop d'inconnues, nous posons donc différents paramètres :

- nous avons précédemment établi que Diamètre = diamètre balle = 40mm
 - D'où $S = 1256 \text{ mm}^2$
 - $L = 2 \text{ Diamètre} = 80 \text{ mm}$
 - Évidemment $P_0 = 101 325 \text{ Pa}$

Le reste dépend du ressort, nous allons donc itérer ressort par ressort jusqu'à ce que :

$$E_{ressort} = P_1 V_1 \geq 10 \cdot E_{balle} \quad (K_s = 10)$$

- $V_0 = (L - L_{min}) \cdot S$
- $V_1 = (L - L_0 + \Delta x) \cdot S$
- $P_1 = \frac{k \cdot \Delta x}{S} + P_0$

Le choix d'un ressort donne les caractéristiques : L_0 , L_{min} et k la constante de raideur, mais pas Δx , pour le déterminer, nous utilisons la loi des gaz parfaits entre $t=1$ et $t=2$:

$$\begin{aligned} P_0 V_0 &= P_1 V_1 \\ \Rightarrow P_0 \cdot S \cdot (L - L_{min}) &= \left(\frac{k \cdot \Delta x}{S} + P_0 \right) (L - L_0 + \Delta x) S \\ \Rightarrow \Delta x^2 \frac{k}{S} + \Delta x \left(\frac{k}{S} (L - L_0) + P_0 \right) + P_0 (L_{min} - L_0) &= 0 \end{aligned}$$

On identifie : $a = \frac{k}{S}$, $b = \frac{k}{S}(L - L_0) + P_0$, $c = P_0(L_{min} - L_0)$

$$\Delta = b^2 - 4ac \quad \text{et} \quad \Delta > 0 \quad \text{d'où} \quad \Delta x = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$$

L'autre valeur de Δx n'est pas retenue car elle est négative.

Après plusieurs itérations, nous choisissons un ressort trouvé à l'IUT tel que $L_0 = 60\text{mm}$, $L_{min} = 10,72\text{ mm}$

Pour trouver la constante de raideur k nous utilisons des poids dont nous connaissons la masse. Nous positionnons le ressort sur un support puis ajoutons plusieurs poids de manière à le comprimer. Nous mesurons sa longueur L' .

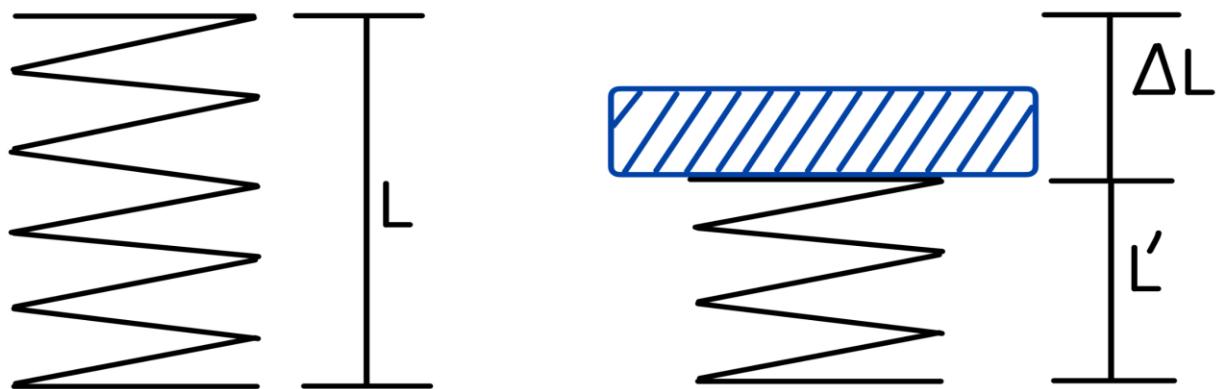


Figure 15 : Calcul constante de raideur

Nous en déduisons la différence ΔL .

$$\text{Nous savons que : } k = \frac{F}{\Delta L} = \frac{mg}{\Delta L} = 1,5 \text{ N/mm}$$

On obtient alors $\Delta x = 29,9 \text{ mm}$, soit plus de la moitié de la course ($= L_0 - L_{\min} = 49,28 \text{ mm}$).

$$\text{D'où } P_{1V1} = 7,96 \text{ J}$$

Mais on limite L_{\min}' à 17mm afin d'éviter le blocage de la roue dentée contre le ressort comprimé au max ($L_{\min}' = 10,72 \text{ mm}$)

$$\text{D'où Course} = L_0 - L_{\min}' = 43 \text{ mm}$$

$$\text{Ainsi } P_{1V1}' = 7,24 \text{ J}$$

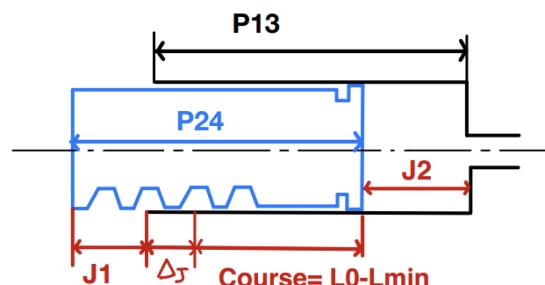
$$\begin{aligned} \text{Soit } E_{\text{ressort}} &= 10,86. \text{ Eballe} & \geq 10. \text{ Eballe} \\ &\Rightarrow \text{conforme} \end{aligned}$$

(Calcul vérifié par addimentionnalisation avec $\widetilde{\Delta x} = \frac{\Delta x}{L}$)

Pour déterminer les longueurs de la chambre, nous avons besoin de prendre en compte 2 facteurs :

- Au repos, la roue bleue doit pour entrainer sur le piston, le piston doit donc être décalé par rapport à la chambre, d'où le jeu J1.

- Au repos, le piston ne doit pas rentrer en contact, d'où le jeu J2.



$$\begin{aligned}
 P_{13} &= \Delta_J + \text{course} + J_2 \\
 &= \Delta_J + L_0 - L_{\min} + L - L_0 \\
 &= \Delta_J - L_{\min} + L
 \end{aligned}$$

$$P_{24} = J_1 + P_{13} - L + L_0$$

$$J_2 = L - L_0$$

Figure 16 Schéma chambre, à vide

Avec un choix arbitraire de $J_1 = 15\text{mm}$ et $\Delta J = 3\text{mm}$ on a :

$$P_{13} = 3 + 43 + 20 = 66\text{ mm}$$

$$P_{24} = 15 + 66 - 80 + 60 = 61\text{ mm}$$

D) Bielle

La bielle est une pièce d'importance majeur du mécanisme, elle permet, lors du tir d'éviter une perte majeure : la sortie d'air dans le chargeur.

Nous cherchons ainsi à fermer au maximum et le plus longtemps possible le chargeur.
Cependant, il faut que la balle puisse passer à un moment afin d'arriver dans la chambre de tir.

En variant les différents paramètres du squelette pilotant, nous voyons sur le graphique de la loi d'entrée-sortie bielle/chargement, qu'elle est maximum lorsque $\alpha = 145^\circ$.

Ainsi en limitant lorsque $\alpha = 145^\circ$ l'écartement au passage de la balle, nous optimisons le mécanisme.

Avec $P_{20} = 45\text{mm}$

Et $P_{18}(\alpha=145^\circ) = \Phi_{\text{balle}} + \text{Jeu} = 42\text{mm}$

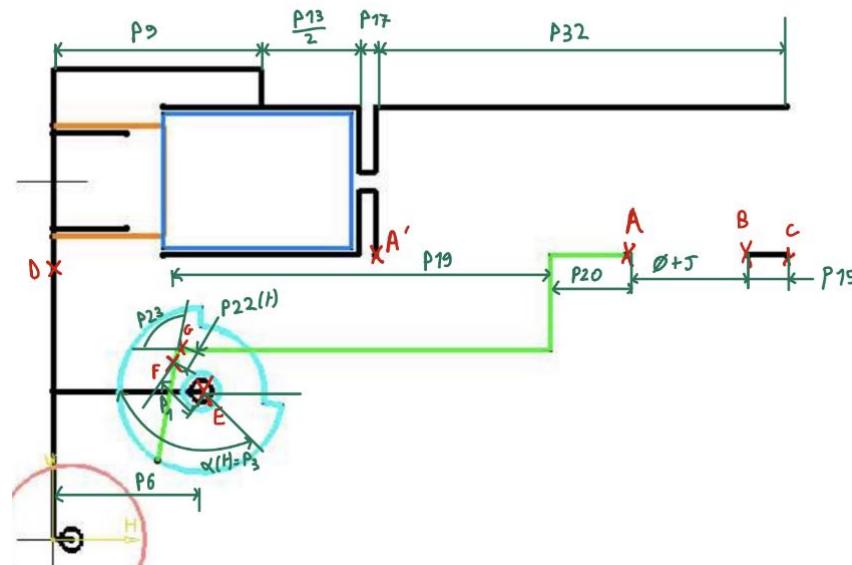


Figure 17 Fermeture cinématique bielle

$$\begin{aligned}
 \overrightarrow{AA_1} \cdot \overrightarrow{\omega} &= \overrightarrow{0} \cdot \overrightarrow{\omega} \\
 \Rightarrow (\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FG} + \overrightarrow{GA}) \cdot \overrightarrow{\omega} &= 0 \\
 \Rightarrow \phi + J + P_{15} - P_{32} - P_{17} - \frac{P_{13}}{2} - P_9 + P_6 + P_1 \cos(\alpha) - \cos(P_{23}) \cdot P_{22}(H) + P_{19} + P_{20} &= 0 \\
 \Rightarrow P_{19} = P_{32} - \phi - J - P_{15} + P_{17} + \frac{P_{13}}{2} + P_9 - P_6 - P_1 \cos(\alpha) + \cos(P_{23}) \cdot P_{22}(H) - P_{20} &= 67,7\text{mm}
 \end{aligned}$$

E) Train d'engrenage

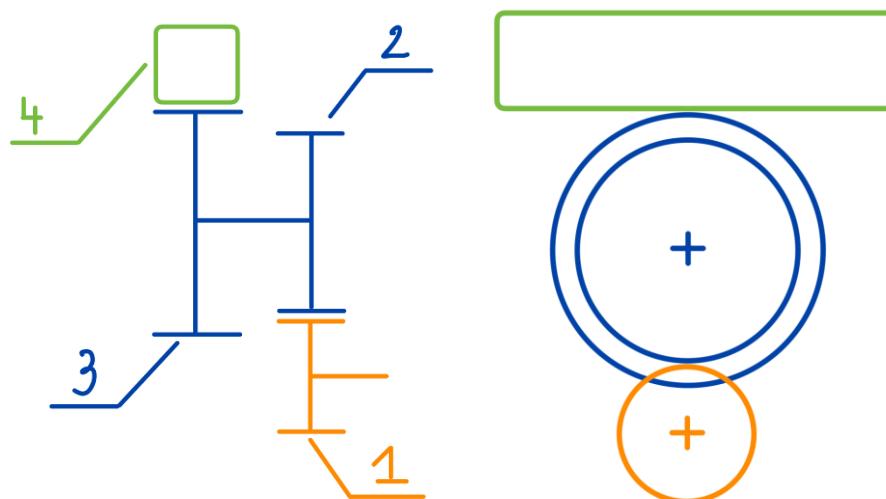


Figure 18 : Train d'engrenage

Figure 19

Le train d'engrenage peut se diviser en deux parties :

- Pignon 1 – Roue 2
- Roue 3 – crémaillère 4

Nous allons dans un premier temps dimensionner le train Roue 3 - crémaillère.

La force maximale transmise par le ressort sur le pignon est :

$$F = k \cdot \Delta l$$

$$\Rightarrow F = 1,5 \cdot 43 = 64,5 \text{ N}$$

Le diamètre primitif a été choisi à $D_3 = 60 \text{ mm}$ pour un module $m_{34}=2\text{mm}$ pour des questions d'encombrement.

D'où :

$$C_3 = D_3 / 2 * F = 1999,5 \text{ N.mm} = 2 \text{ N.m}$$

Afin de dimensionner le nombre de dents, nous avions dans un premier temps calculé $Z_3 = \text{Course} / \text{pas} \simeq 7 \text{dents}$

Mais après avoir imprimé en 3D et découpé des pièces d'essai pour vérifier le bon fonctionnement, Nous nous sommes rendu compte que le déplacement de la glissière, donc du piston serait bien supérieur au déplacement que nous avions calculé.

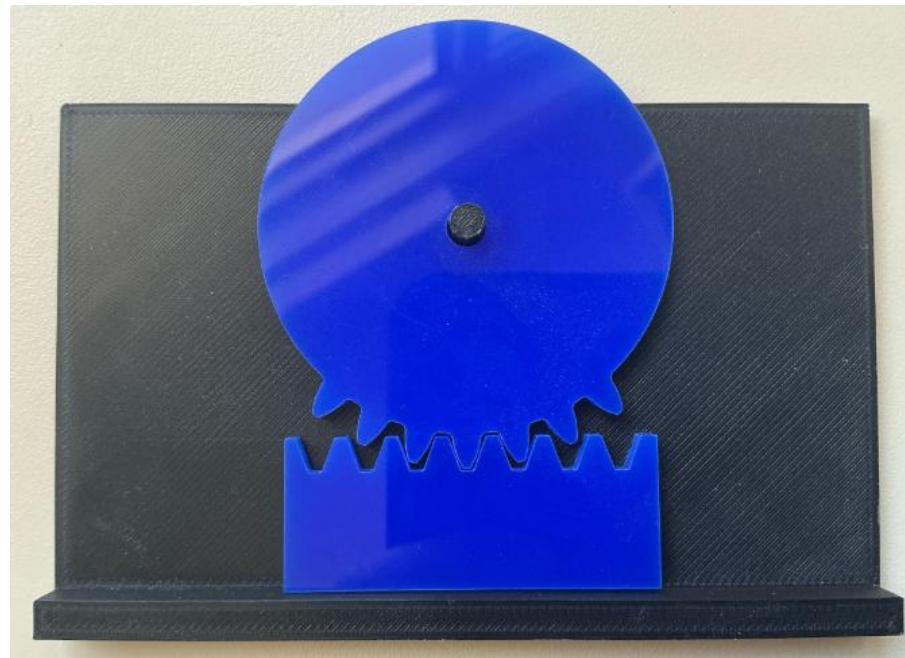


Figure 20 : Test engrainement

La roue et la crémaillère ont été découpé “dans le plan” car la 3D n'est pas nécessaire pour vérifier ces caractéristiques.

Le support a été imprimé en 3D car nous avions besoin d'un guidage pour la crémaillère et d'un pivot pour la roue.

Ce problème est dû au fait que nous n'avions pas pris en compte l'angle de début et de fin d'engrainement, nous les avons tout deux considéré à 90° , voir figure

Nous avons une section supplémentaire à prendre en compte qui est de $116 - 64 = 52^\circ$.

Nous allons alors passer par le calcul d'angle et donc le paramètre P5 représentant l'angle de section dentée de la roue 3.

$$\begin{aligned} \text{Course} &= D3 * (P5 - 52) * \frac{2 * \pi}{360} \\ \Rightarrow P5 &= \text{Course} * \frac{360}{2 * \pi * D3} = 41^\circ \end{aligned}$$

La roue doit être dentée sur 41°

Si la roue était complète, nous aurions $Z3 = D3/m34 = 30$ dents, mais dans notre cas :

$$Z3' = Z3 * \frac{41}{360} = 3,41 \text{ dents} \approx 3 \text{ dents}$$

Nous pouvons maintenant dimensionner le second train : Pignon 1 – roue 2.

Nous savons du train précédent que le couple à transmettre est

$$C_2 = C_3 = 2 \text{ N.m}$$

Pour la suite des calculs, ils bouclent alors nous avons utilisé Excel. On cherche à déterminer les diamètres et nombres de dents mais l'effort tangentiel dépend du diamètre. Ainsi nous vérifieront à chaque itération (module et nombre de dents) que le module mini est vérifié.

Pour les applications numériques, nous donnerons ici les choix de solution final, bien que dans l'ordre chronographique du rapport, on ne peut pas forcément connaître les valeurs.

$$F_{t2} = C_2 / D_2 \times 1000 = 75,5 \text{ N}$$

Comme nous l'expliquerons plus tard, les roues sont réalisées en plexiglass, nous avons donc choisi une épaisseur Epp de plaque, correspondante à la largeur de roue b, qui fera varier le coefficient de largeur Kb, et non l'inverse comme il est fait plus traditionnellement, d'où :

$$K_b = Epp / m = 11,44$$

Il faut bien comprendre que nous avons séparé la cellule du module de celle du module mini, le module mini lui est calculé automatiquement et nous faisons varier manuellement le module m.

Nous avons alors notre première condition à respecter :

$$m_{\text{mini}} \geq 2,34 \sqrt{\frac{F_t}{K_b \cdot \sigma_{p_{\text{plexiglass}}}}} = 0,95 \text{ mm}$$

(1)

$$\text{avec } \sigma_{p_{\text{plexiglass}}} = 40 \text{ MPa.}$$

Nous avons établi dans le cahier des charges que dans l'utilisation la plus contraignante, nous devons tirer 30 balles par minutes. Chaque tour de l'ensemble roue bleu représente 1 tir, ainsi dans la conception, nous utiliserons :

$$N_2 = 30 \text{ tr/min}$$

$$\Rightarrow W_2 = \pi \times N_2 / 30 = \pi \text{ rad/s}$$

$$\text{Ainsi } P_2 = C_2 \times W_2 = 6,28 \text{ w}$$

Un rendement de denture extérieur comme le nôtre pour de l'acier est de 95 à 97%

Utilisant du plexiglass, nous admettons $\eta = 80\%$.

$$P1 = P2 / \eta = 7,85 \text{ W}$$

Afin de réduire nos dépenses, nous avons fait le choix de choisir un moteur à l'IUT et adapter nos composants pour

Notre moteur a un couple fourni de :

$$\begin{aligned} C_{\text{moteur_max}} &= 12 \text{ kg.cm} = 1,18 \text{ N.m} \\ \Rightarrow C1 &= C_{\text{m_max}} / K_s = 0,94 \text{ N.m} \quad , \text{Avec } K_s = 1,25 \end{aligned}$$

On peut en déduire la vitesse de rotation de l'arbre d'entrée, soit du moteur :

$$\begin{aligned} W1 &= P1/C1 = 8,34 \text{ rad/s} \\ \Rightarrow N1 &= 30 / \pi \times W1 = 79,65 \text{ tour/min} \end{aligned}$$

70 tour/min $\in [50 ; 500]$ qui est la plage appropriée pour un moteur pas à pas.

On peut maintenant chercher les diamètres et nombre de dents du pignon et de la roue :

$$\begin{aligned} Kr &= W_s / W_e = W_2 / W_1 = 0,38 \\ D1_{\text{ciblé}} &= D2 \times Kr = 19,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nous avons alors trois conditions qui s'ajoutent :

- ② Non-interférence entre 2 et 4 $\Rightarrow D2_{\text{tête}} \leq D3_{\text{pied}}$
- ③ Non-interférence entre 3 et l'arbre moteur $\Rightarrow R1 + R2 > R3_{\text{tête}} + R_{\text{arbre_entrée}}$
- ④ Non-interférence carter moteur-tête_vis : $R1 + R2 > (\text{coté carter} + Epp_{\text{tête_vis}})/2$

$$\textcircled{2} \quad D2 + 2m \leq D3 - 2,5 \times m_{34}$$

$$\Rightarrow D2 + 2m \leq 60 - 2,5 \times 2$$

$$\Rightarrow D2 + 2m \leq 55 \text{ mm}$$

$$③ \quad D1 + D2 > D3 + 2m_34 + \text{Dabre_entré}$$

$$\Rightarrow D1 + D2 > 72 \text{ mm}$$

$$④ \quad D1 + D2 > \text{coté carter} + \text{Coté_tete_visse_abre23}$$

$$D1 + D2 > 56 + 13$$

$$D1 + D2 > 69 \quad \Rightarrow \text{moins}\\ \text{contraignant que } ③$$

$$D1 = m \times Z1 \quad , \text{proche de } D1\text{_cible}$$

$$D2 = m \times Z2$$

Nous avons établi chaque paramètre, il faut maintenant itérer en variant m , $Z1$ et $Z2$.

Le choix final se porte vers les paramètres suivants :

M = 1 mm Utilisant la découpe laser, on aurait pu choisir n'importe quelle valeur. Cependant, dans une réflexion de reproduction avec denture métallique : Module normalisé (secondaire).	D1 = 20 mm Avec Z1 = 20	D2 = 53 Avec Z2 = 53
--	----------------------------	-------------------------

Figure 21 : Tableau récapitulatif train engrenage 1-2

Nous pouvons vérifier les conditions :

$$① \quad m = 1 \geq m_{\text{mini}} = 0,95 \text{ mm}$$

$$② \quad D2 + m = 57,375 < 57,5 \text{ mm}$$

$$③ \quad D1 + D2 = 77,625 > 73 \text{ mm}$$

F) Carter

Une fois toutes les pièces dimensionnées, nous pouvons conceptualiser le carter qui va mettre en lien les différents éléments.

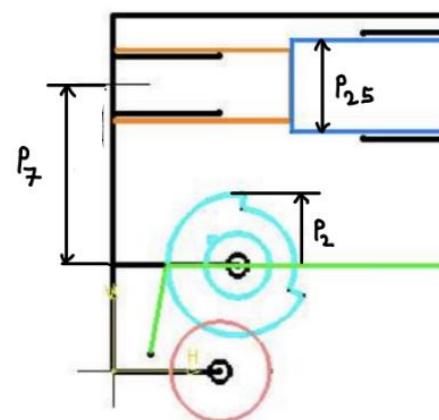


Figure 22 : Fermeture cinématique calcul $P7$

$$P7 = P2 + \frac{P25}{2} = \frac{D3}{2} + \frac{\emptyset \text{Piston}}{2} = 48\text{mm}$$

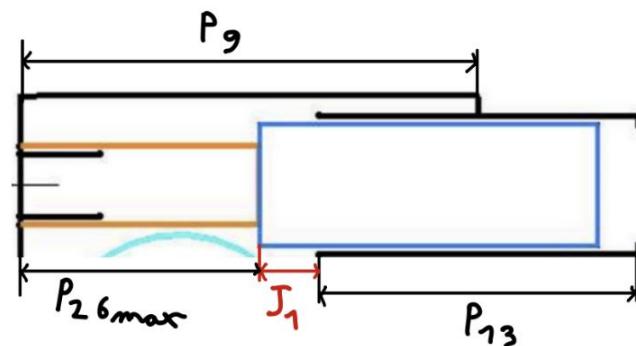


Figure 23 : Fermeture cinématique calcul $P9$

$$P9 = P_{26max} + J_1 + \frac{P_{13}}{2} = L0 + 15 + \frac{66}{2} = 108\text{mm}$$

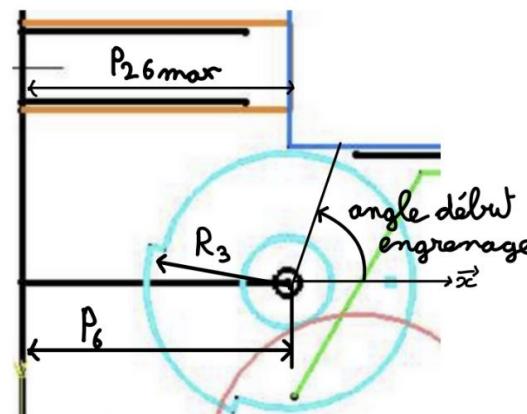


Figure 24 : Fermeture cinématique calcul P6

$$P6 = P26\text{max} - R3 * \cos(\text{angle début engrenage}) = L0 - R3 * \cos(64^\circ) = 46,9\text{mm}$$

Afin que les efforts tangentiels s'équilibrent entre la roue 1,2, 3 et la crémallière 4, nous allons aligner verticalement les axes de la roue 1 et de l'ensemble roue 2 – 3.

Alors $P4 = P6 = 46,9$ mm

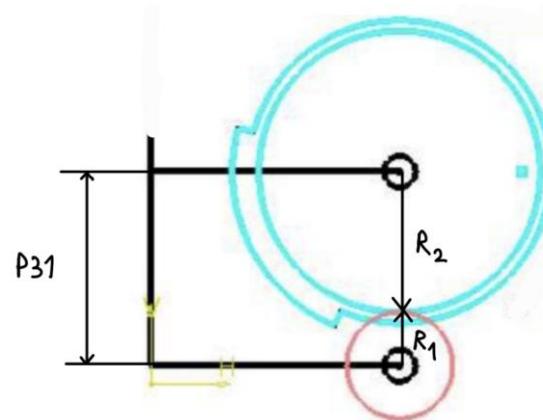


Figure 25 : Fermeture cinématique calcul P31

$$P31 = R1 + R2 = \frac{D1 + D2}{2} = 36,5\text{mm}$$

VII - Conception

La conception de notre système a été réalisé sous le logiciel de CAO CATIA V5.

A) Engrenages

Grâce aux calculs réalisés précédemment nous avons déterminer les diamètres et les modules à appliqués à notre train d'engrenage et le nombre de dents nécessaire pour la roue crémaillère.

Afin de simplifier la conception des engrenages, nous utilisons une table de paramétrage contenant les dimensions pour chaque roue.

Liaison roue 3-piston 4:

Selon le schéma utilisé dans la partie VII)E), nous nous intéressons à la liaison entre le piston crémaillère 4 et la roue intermédiaire 3

Nous modélisons une roue partiellement dentée de Ø primitif = D3 = 60mm, de module m34 = 2mm et un nombre de dents de Z3 = 3

Nous savons que cette roue doit être encastrée avec la roue intermédiaire 2. Nous prévoyons trois perçages dédiés à accueillir des goupilles pour réaliser cet encastrement.

Nous prévoyons également un perçage dédier à accueillir l'excentrique faisant translater la bielle de chargement.

Le perçage central permet de mettre en place un palier lisse entre la roue et l'axe.

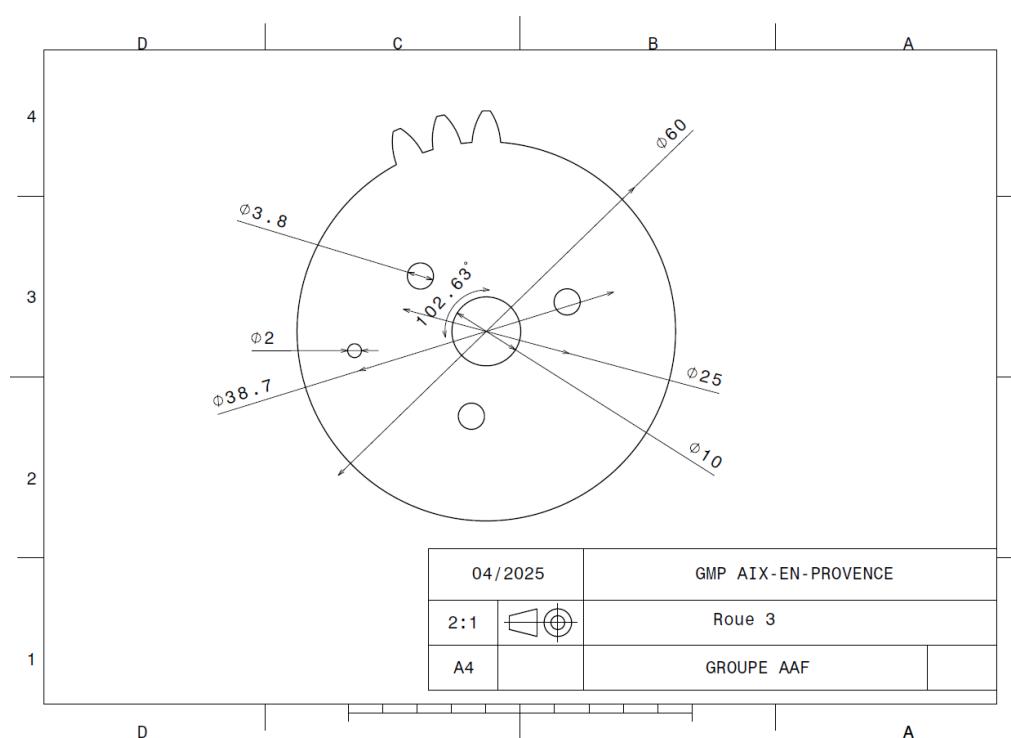


Figure 26 : Dessin définition roue 3

Liaison roue intermédiaire – roue moteur :

Selon le schéma utilisé dans la partie VII)E), nous nous intéressons à la liaison entre la roue intermédiaire 2 et la roue moteur 1.

- Pour la roue intermédiaire 2 nous modélisons une roue de \emptyset primitif = 53mm, de module $m_{12} = 1\text{mm}$ et un nombre de dents de $Z_2 = 53$.

Comme pour la roue intermédiaire 3 nous prévoyons les 3 perçages pour accueillir les goupilles.

Le perçage central permet de mettre en place un palier lisse entre la roue et l'axe.

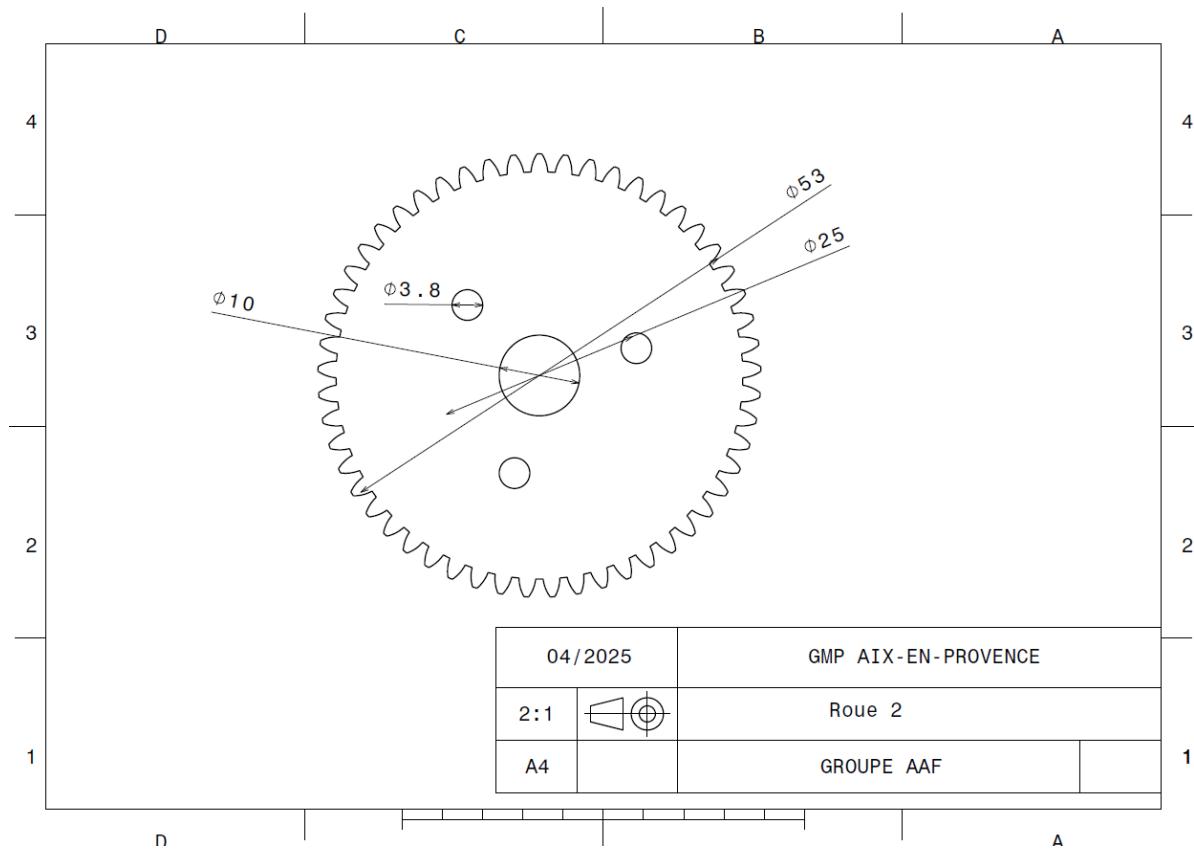


Figure 27 : Dessin définition roue 2

- Pour le pignon moteur nous modélisons une roue de \emptyset primitif = 20mm, de module $m_{12} = 1\text{mm}$ et un nombre de dents de $z = 29$.

Nous réalisons un perçage spécial afin de pouvoir appairer le pignon avec son axe et de transmettre le couple du moteur.

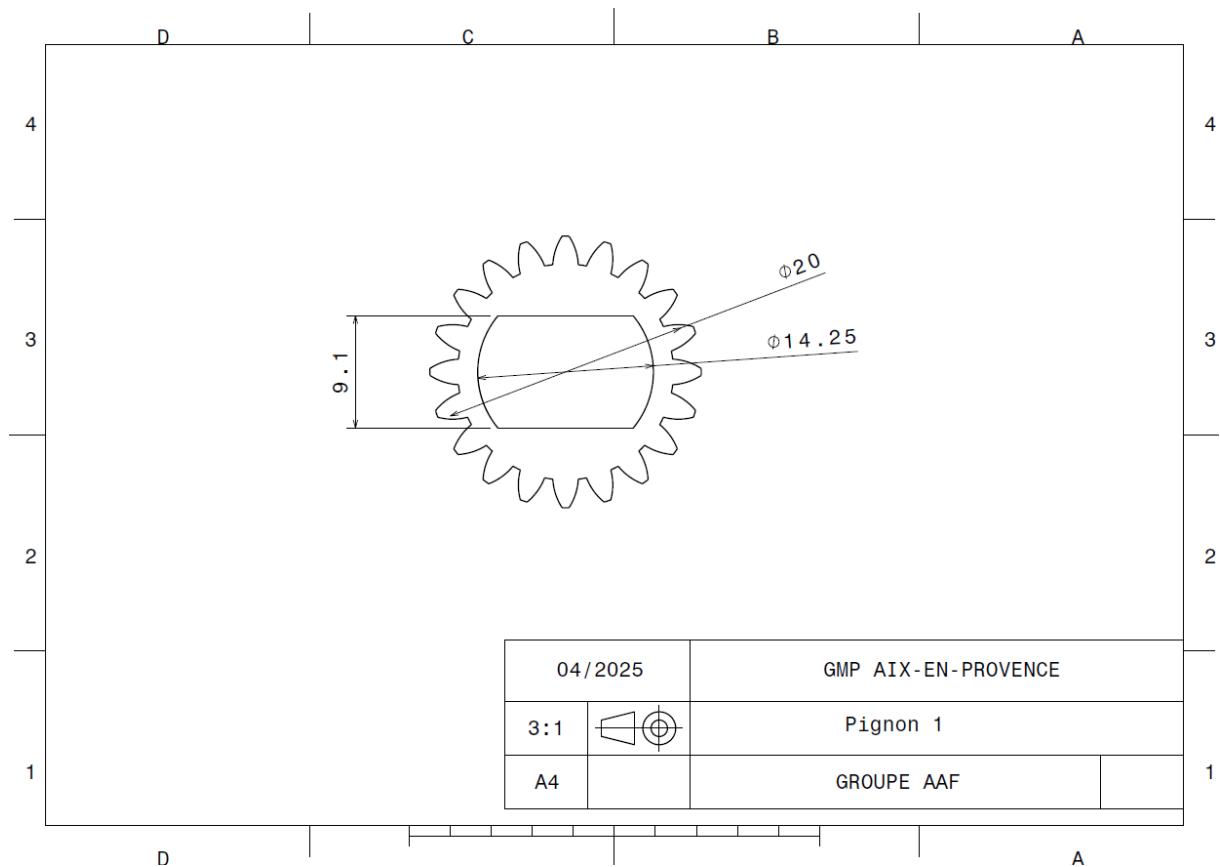


Figure 28 : Dessin définition roue 1

C) Piston

Le piston est une pièce fondamentale de notre système car il permet de déplacer le flux d'air à l'intérieur de la chambre pour propulser la balle.

Ses dimensions doivent respecter les valeurs établies précédemment.

Il est lié au reste du système par une liaison glissière ce qui implique que son seul degré de liberté est une translation selon son axe de symétrie.

Ce critère est essentiel car il est lié à la position de la denture du piston par rapport à la roue qui l'engrène. Si cette mise en position n'est pas respectée, cela pourrait entraîner un disfonctionnement du piston.

Nous choisissons de lui faire réaliser une liaison pivot glissant avec la chambre de compression et de bloquer la rotation sur son axe grâce au guide du ressort.

Ces choix impliquent plusieurs contraintes.

- 1) Liaison piston-chambre.

Le but de ces deux pièces est de déplacer l'air le plus efficacement possible. Nous devons donc assurer l'herméticité tout en permettant un déplacement entre les deux pièces. Nous concevons une chambre amovible à positionner dans le carter afin de maîtriser un ajustement de 0,05mm entre les deux pièces.

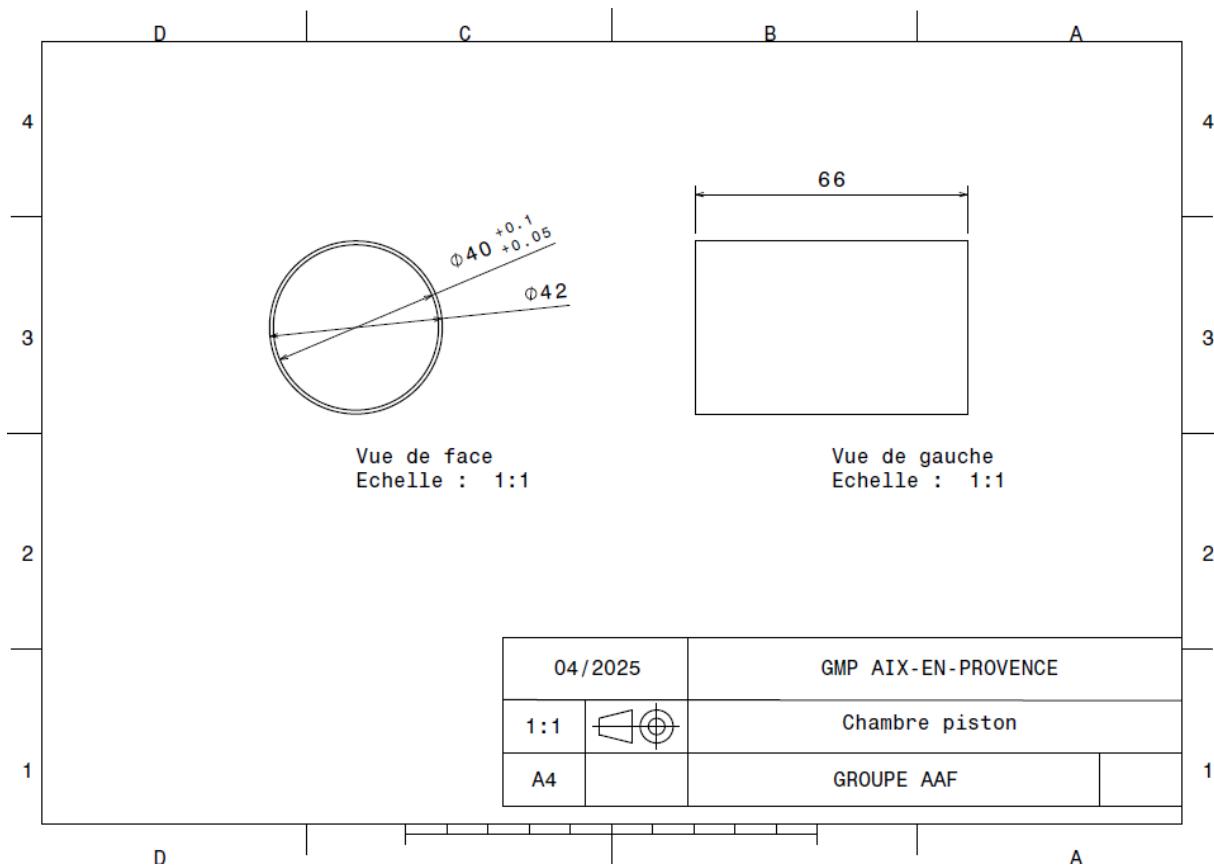


Figure 29 : Dessin définition Chemise

Les contrats de phases sont disponibles en annexe.

2) Liaison piston – guide ressort.

Pour bloquer les interférences avec le guide ressort nous modélisons un alésage dans le piston.

Nous ajoutons une rainure fonctionnant avec une extension sur le guide ce qui permet de bloquer la rotation du piston autour de son axe de translation.

3) Liaison piston – roue

Nous modélisons les dentures perpendiculairement à la rainure afin d'assurer la mise en position des éléments.

Jouant le rôle d'une crémaillère, nous modélisons des dentures droites en adaptant le pas.

Nous savons que :

$$\text{Pas roue} = \text{Pas crémailleure} * \cos(\text{angle de pression})$$

Alors :

$$Pas \ crémaillère = \frac{Pas \ roue}{\cos(\text{angle de pression})}$$

Or le pas de la roue 4 vaut 6,28 mm et l'angle de pression vaut 20°

Nous obtenons :

$$Pas \ crémaillère = \frac{6,28}{\cos(20)} = 6,68mm$$

4) Liaison piston-ressort

Le ressort doit être encastré au piston afin de garantir un bon positionnement à tout moment de fonctionnement. La base du piston doit donc avoir un ajustement serré avec le diamètre intérieur du ressort.

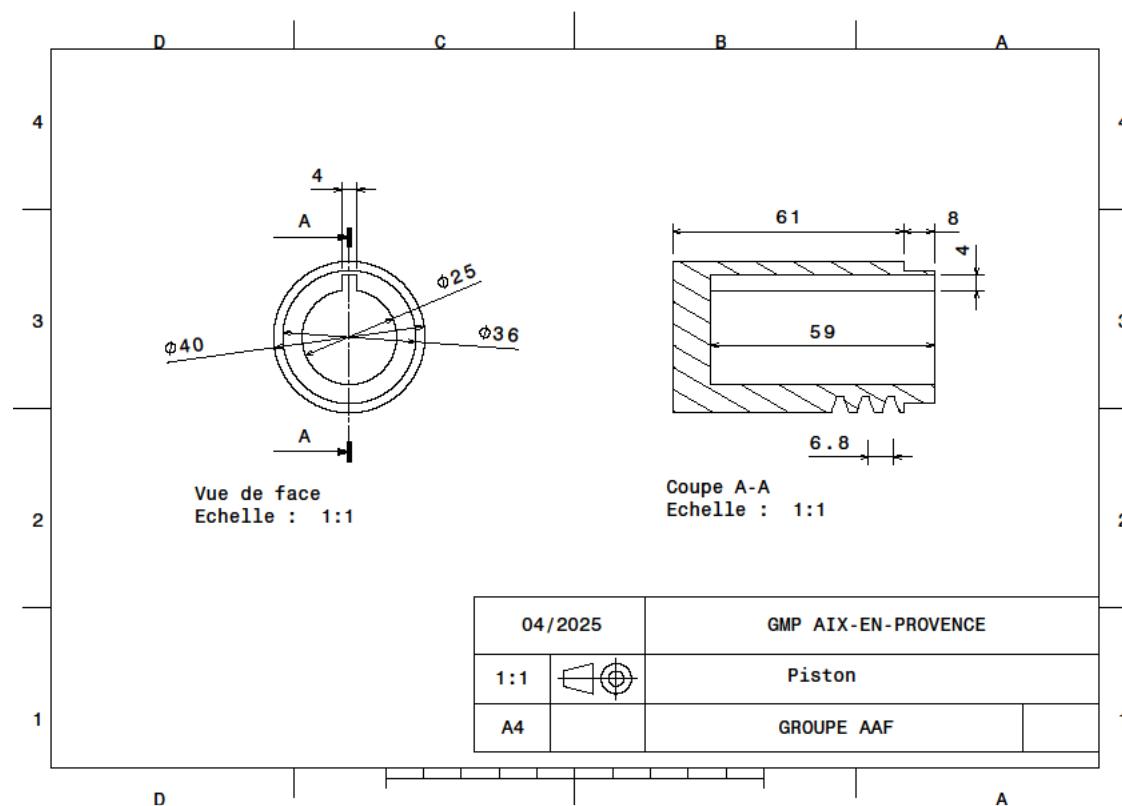


Figure 30 : Dessin définition piston/crémaillère

B) Guide ressort

La pièce guide ressort possède trois fonctions principales :

- 1) Guider le ressort.

En effet, pour utiliser les caractéristiques optimales du ressort, nous devons assurer une bonne compression et décompression linéaire diminuer sont fléchissement lors de son utilisation. Cette pièce permet donc dans un premier temps de maintenir le ressort sur son axe. Le diamètre du guide doit être inférieur à celui du ressort pour éviter les frottements et atténuer les pertes d'énergie.

- 2) Encaster le ressort.

Sa deuxième fonction est de maintenir encastre le ressort à sa base pour assurer la maîtrise de sa position dans le système. La base du guide doit donc avoir un ajustement serré avec le diamètre intérieur du ressort.

- 3) Bloquer la rotation du piston

Sa troisième fonction est de bloquer la rotation du piston sur son axe de translation. Nous ajoutons alors une petite extension pour transformer le liaison pivot entre le piston et la chambre de compression en liaison glissière.

De plus, il faut également assurer un encastrement entre le guide et le carter. Nous positionnons de pions de centrage et un appui plan à sa base pour bloquer les rotations et translations de la pièce.

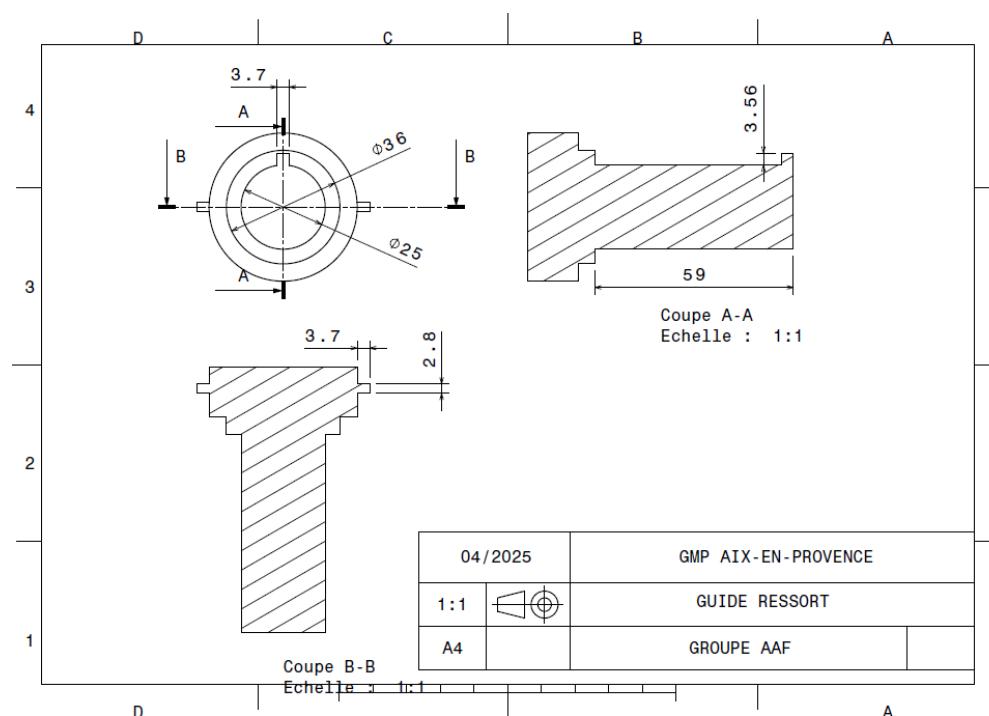


Figure 31 : Dessin définition guide piston

C) Axe moteur

Cette pièce permet de transmettre le couple du moteur au train d'engrenage.

Le moteur que nous possédons ne comporte pas de méplat et est trop court Pour que nous l'utilisions directement sur une roue. Nous créons une pièce, l'axe moteur, pour adapter les dimensions.

Grace à cette pièce nous maitrisons les cotes de positionnement de la roue 3 par rapport au bâti et aux autres roues du train d'engrenage.

- 1) Pour transmettre le couple nous choisissons d'emmancher notre pièce sur le moteur et de sécuriser l'encastrement grâce à deux vise de pressions M3 sans têtes positionné perpendiculairement à l'axe.
- 2) Pour bloquer la rotation de la roue 3 par rapport à l'axe moteur Nous créons deux méplats sur l'axe moteur.
- 3) Enfin pour bloquer la translation de la roue sur le long de l'axe, nous positionnons une rainure de circlip Pouvant accueillir un circlip de Ø12 mm int.

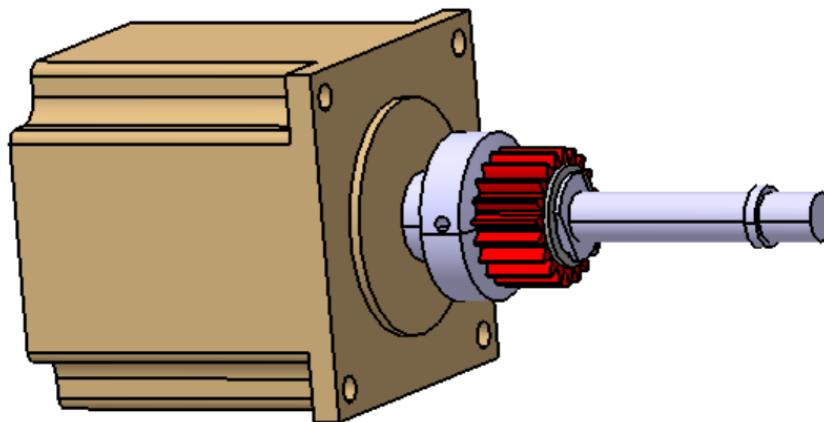


Figure 32 : Montage arbre 1

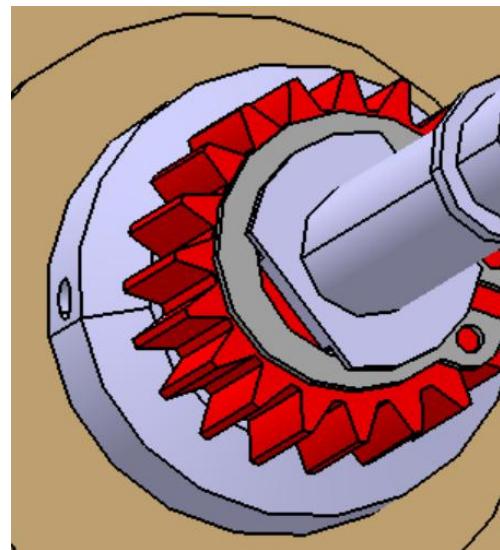


Figure 33 : Arrêt axial roue 1

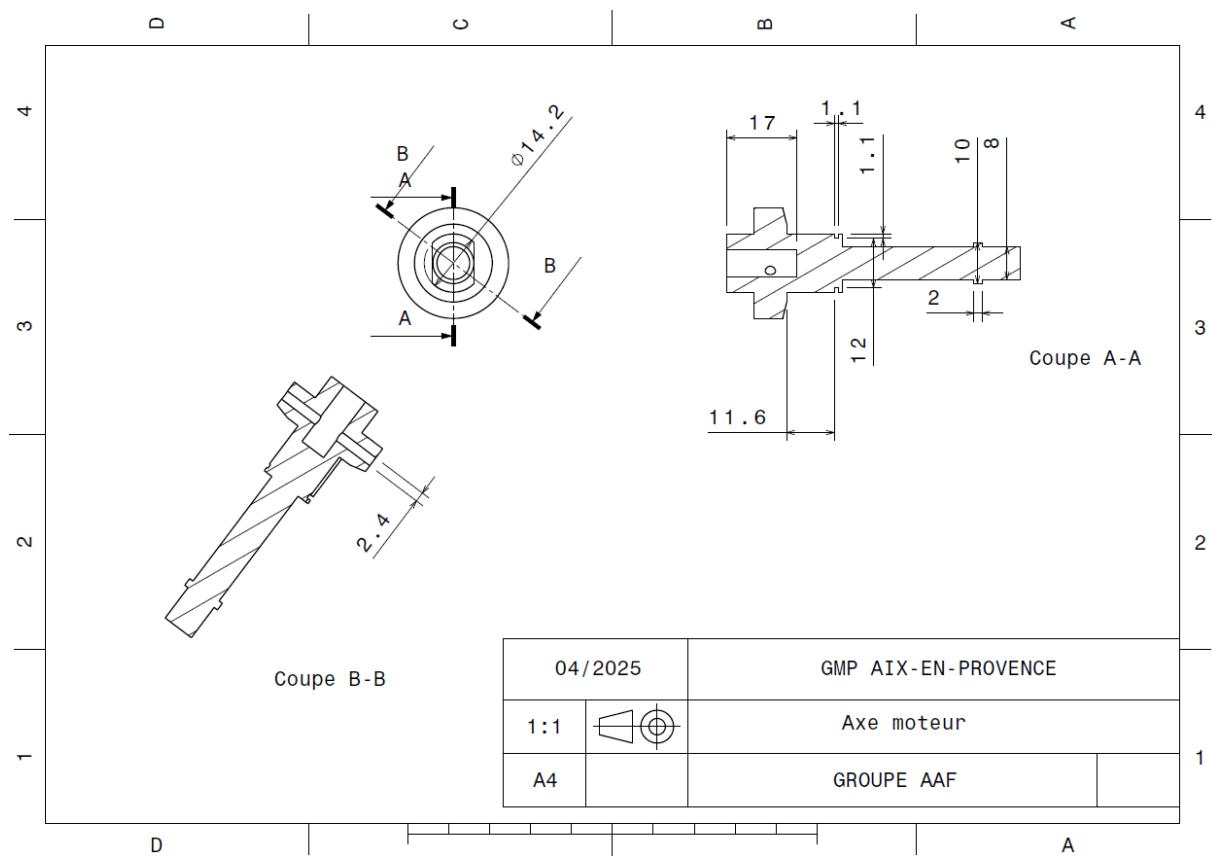


Figure 34 : Dessin définition axe moteur

D) Bielle

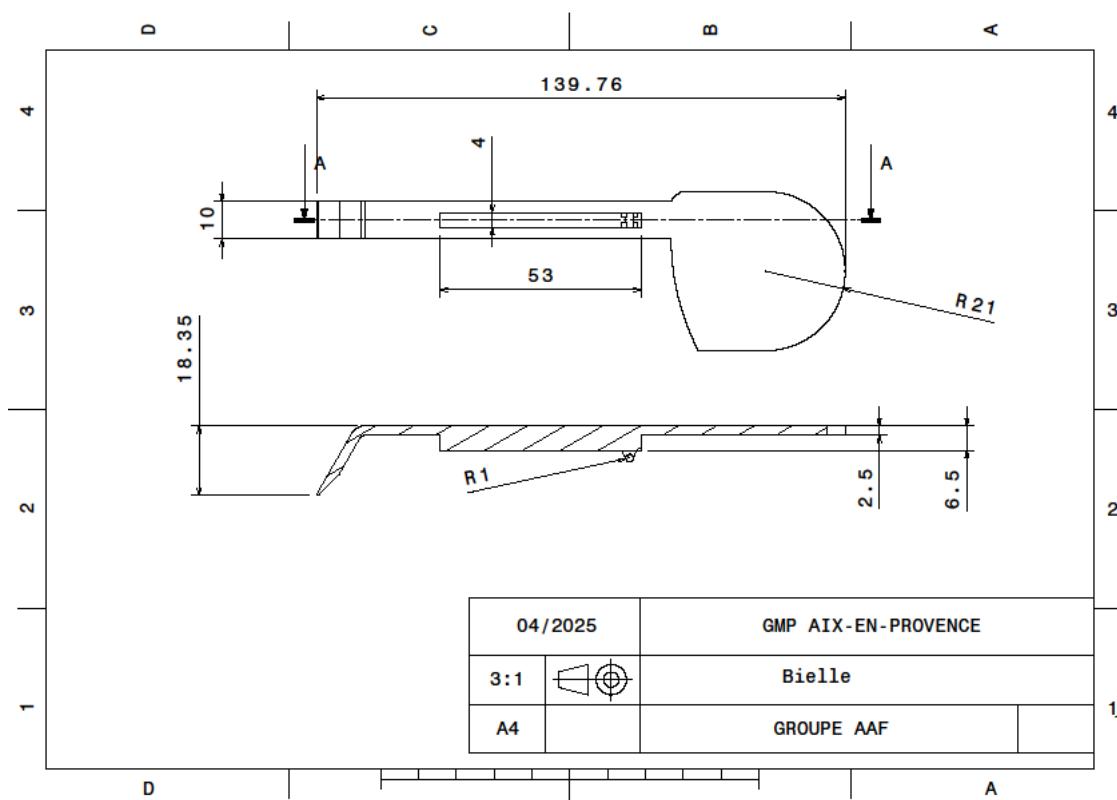


Figure 35 Mise en plan bielle

La bielle possède un « petit axe » qui permet d'accueillir un petit ressort pour tirer la bielle vers le chargeur en permanence.

E) Carter

Nous avons choisi de modéliser le carter de notre système à partir du squelette pilotant. Dans l'atelier PartDesign nous créons des coïncidences entre les dimensions du squelette et du carter. Cette méthode nous permet de pouvoir nous adapter si des dimensions venaient à être modifier. Il nous suffirait de modifier la dimension voulu sur le squelette et le carter s'adapterait.

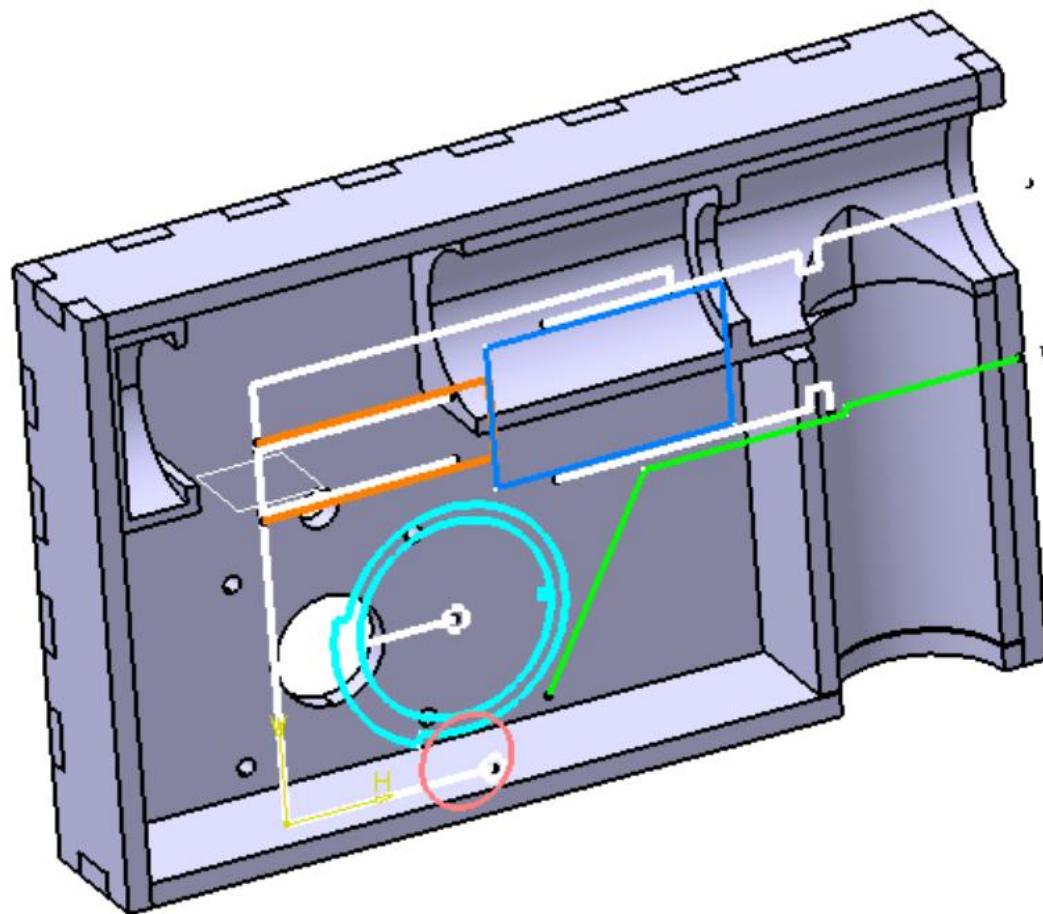


Figure 36 : CAO carter

Pour plus de facilité lors du montage du système, nous choisissons de réaliser un carter en deux parties symétriques. Nous pouvons dans un premier temps nous concentrer sur la conception d'une moitié. Puis dans un second temps copier symétriquement pour créer la deuxième partie.

F) Assemblage

Après avoir conçu toutes les pièces de notre système en CAO nous pouvons passer à l'assemblage.

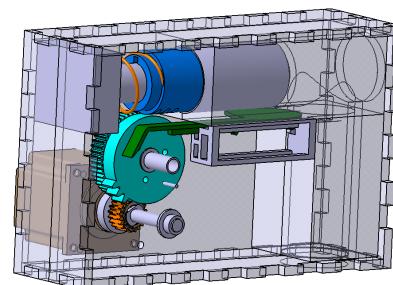


Figure 37 : Assemblage CAO

Cette étape nous permet de mettre en évidence des défauts de conception qui nous aurait échapper et de les corriger.

G) Orientation

L'objectif de la partie orientation est pour que nous puissions tourner notre lanceur de balle dans le sens horizontale et vertical.

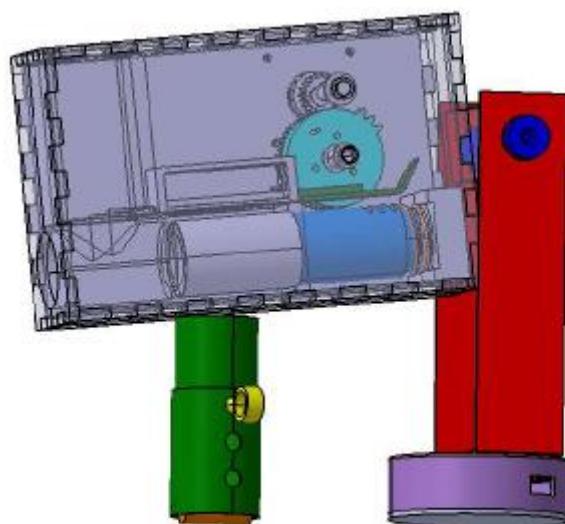


Figure 38 : CAO assemblage

La partie orientation va être divisée en deux partie, l'orientation horizontale et l'orientation verticale.

1. Orientation horizontale

L'orientation horizontale se fait grâce à des engrenage intérieure et quatre roulements. Le moteur utilisé est un petit moteur pas à pas parce que l'angle d'orientation est important et il y a un petit engrenage colle sur le moteur pour faire tourner la partie plaque supérieure. La partie plaque supérieur ne va qu'être en contact avec les roulements et c'est pour ça que la plaque supérieure peut tourner doucement.

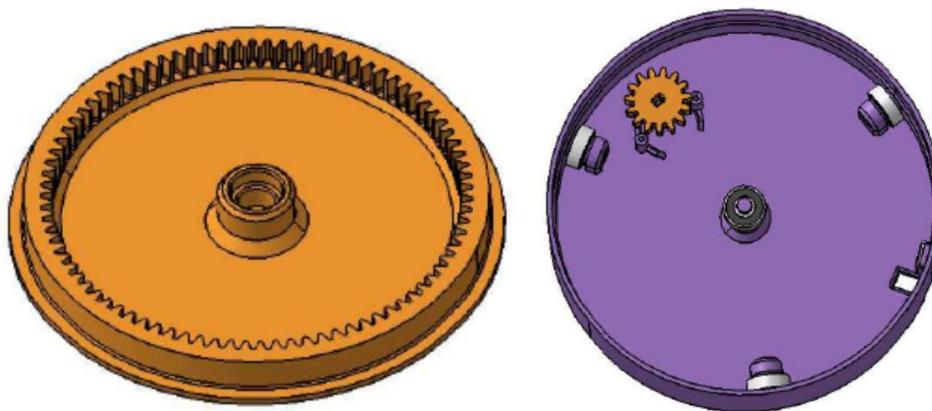


Figure 39 : CAO orientation horizontale

En plus, il y a d'Arduino pour régler le sens d'orientation du moteur. L'Arduino utilisée est un Arduino Uno R3 avec un moteur driver ULN2003.

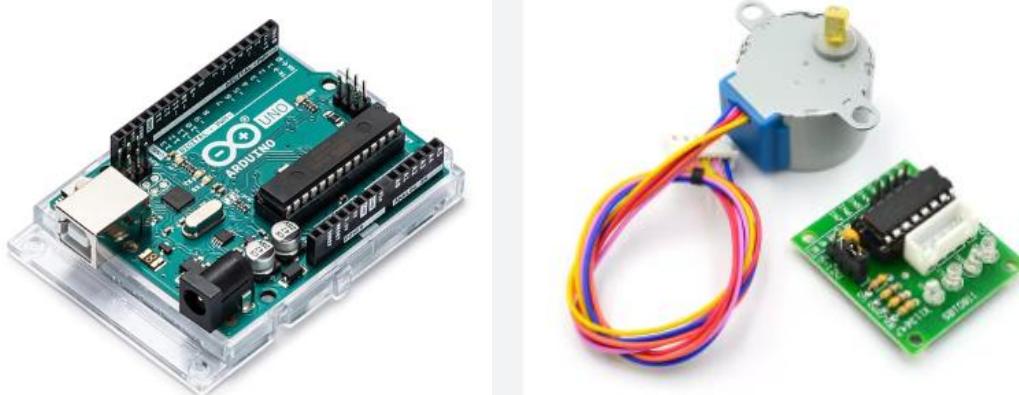


Figure 40 : Arduino

2. Orientation verticale.

L'orientation verticale se réalise avec quatre pièces différentes qui sont la pièce en U, l'arbre, goupille, et le support avec un hauteur réglable. Le support est en fait se fait en deux parties. Celui de Ø46mm va entrer dans la pièce de Ø50mm et grâce aux petits trous autour de la pièce, nous pouvons le fixer avec une goupille. Vu qu'il y a nombreuse de trous autour la

pièce on peut régler la hauteur du support, donc régler l'orientation verticale. Cette orientation est réalisée en manuel. Il y a aussi un rouleau au-dessous de ces pièces pour que ça puisse bien tourner. L'arbre s'arrête grâce aux épaulements et circlips.

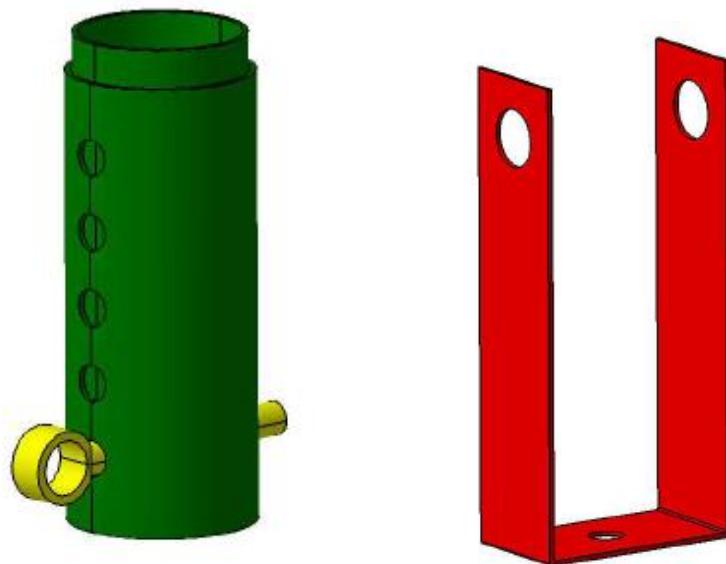


Figure 41 : CAO orientation verticale

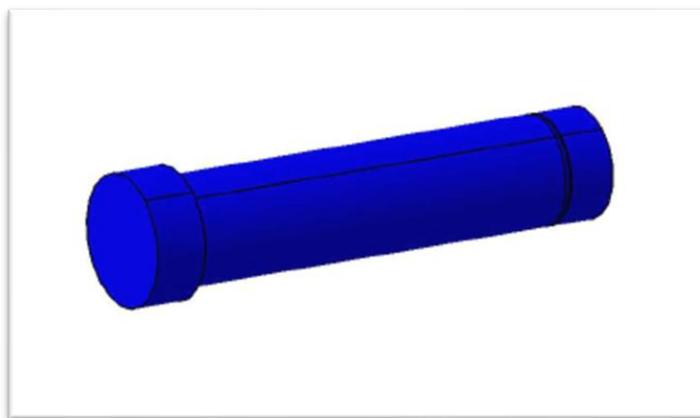


Figure 42 : CAO axe orientation

VIII - Fabrication

Dans le cadre du prototypage fonctionnel, nous avons décidé de favoriser les techniques de prototypage rapide telle que l'impression 3D ou la découpe laser. Nous usinerons également certaines pièces qui nécessite de bons états de surfaces.

A) Train d'engrenage

Pour produire les roues de notre train d'engrenage, nous avons dans un premier temps penser à utiliser la découpe laser. Cette méthode est rapide et simple à mettre en œuvre. Elle est donc propice au prototypage.

Nous avons utilisé la machine de découpe laser HEXA mise à notre disposition en salle InPROTO.

Méthode :

- Conception des roues/pignon.
- Mise en plan des roues/pignon.
- Enregistrement du fichier sous format DXF.
- Importation du fichier dans Beam Studio.
- Choix des paramètres de coupe.
- Enregistrement du fichier sous format Flux Task.
- Transfert du fichier vers la machine de découpe.
- Mise en place et découpe du matériau.

Cependant cette méthode comporte plusieurs inconvénients :

- Restriction dimensionnelle.

En effet cette méthode implique l'utilisation de plaque de différents matériaux comme le bois, le plexiglass, l'acrylique. Ces plaques ont une épaisseur donnée ce qui nous restreint.

Nous utilisons donc une plaque de plexiglass d'épaisseur 11mm et adaptons notre CAO à cette épaisseur.

- Précision.

Le principe de ce procédé est d'utiliser la puissance d'un laser pour traverser un matériau. Dans le logiciel il est donc possible de plusieurs paramètres comme la puissance du laser ou le nombre de passe.

Or une puissance trop élevée ou un nombre de passe trop importante peut créer une dépolisse sur la pièce découpée.

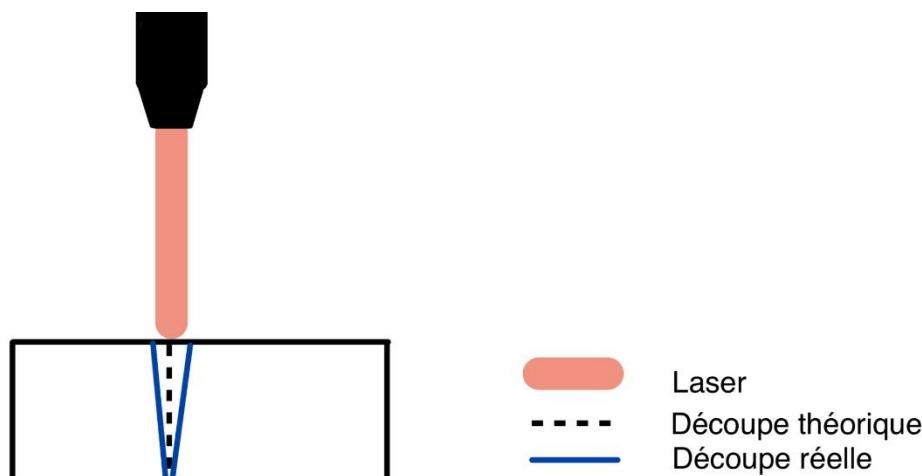


Figure 43 : Schéma laser

Angle dépoille



Figure 44 : Qualité de découpe 1

Ce phénomène joue donc également sur la qualité et la précision des dentures d'engrenage :



Figure 45 : Qualité de découpe 2



Figure 46 : Qualité de découpe 3

En utilisant un projecteur de profil il est possible de mesurer cet angle de dépouille et de déterminer si sa valeur impactera le fonctionnement du train d'engrenage.

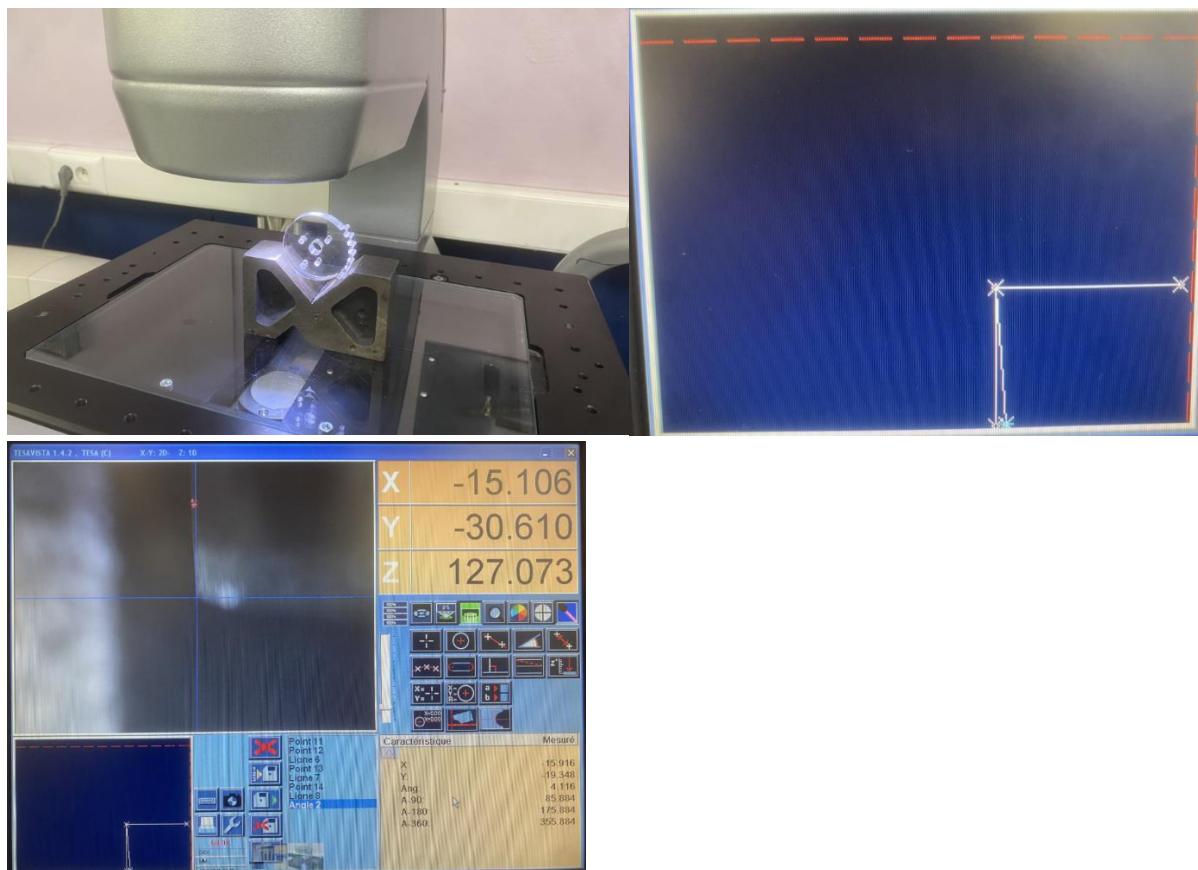


Figure 47 : Machine à mesurer tridimensionnel

Nous mesurons un angle de dépouille de $4,116^\circ$

Il est primordial de faire plusieurs essais pour déterminer les meilleurs paramètres pour le matériau que nous avons choisi et son épaisseur.

Nous aurions pu jouer sur le DPI de la machine (dots per inch) et la résolution du fichier dxf comportant le plan des roues.

Autre méthode :

- Impression 3D (plastique)

Cette solution est aussi précise que la découpe laser (1/10). Or les dentures semblent moins solides ? résistent moins au cisaillement ?

- Electroérosion (métal)

Ce procédé est plus précis que les précédents, cependant les pièces produites sont plus lourdes.

B) Carter

Initialement prévu entièrement en impression 3D, nous nous adaptons au vu des dimensions de notre carter et de l'imprimante. En effet, au vu des dimensions de notre carter nous ne pouvons pas le réaliser en un seul bloc.

La pièce est donc réalisée en plusieurs partie afin d'associer à la fois la découpe laser et l'impression 3D

Schéma cao carter

Le coffrage est réalisé en plexiglass de dimensions 900*200*6 mm. Nous l'avons choisi pour sa rigidité. Pour assurer un bon positionnement entre les parois Nous créons des encoches via le logiciel Case Maker.

CF Figure 36

Méthode :

- Reconception du carter fabricable.
- Mise en plan des différentes parties du coffrage via MakerCase
- Importation des géométries dans AutoCad pour optimiser la découpe sur la plaque.

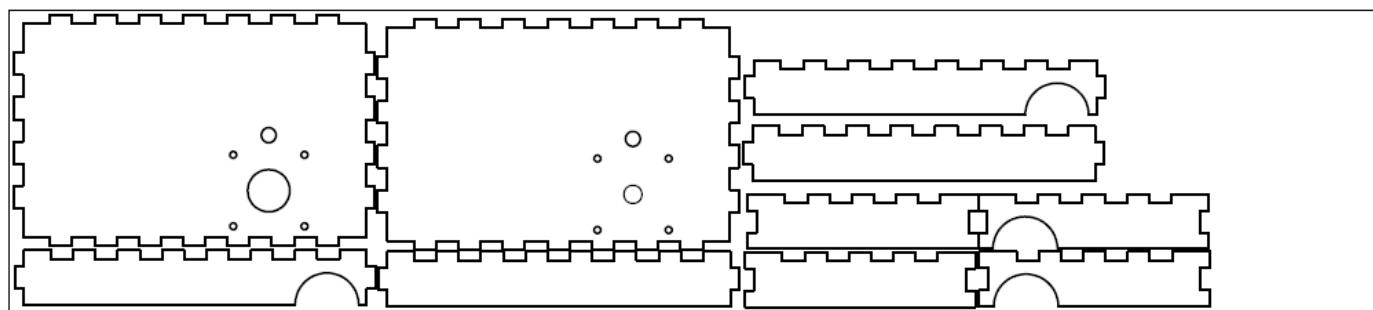


Figure 48 : Fichier de découpe laser

- Enregistrement du fichier sous format DXF.
- Importation du fichier dans Beam Studio.
- Choix des paramètres de coupe.
- Enregistrement du fichier sous format Flux Task.
- Transfert du fichier vers la machine de découpe.
- Mise en place et découpe du matériau.

Les autres parties du carter comme le canon, le chargeur et le pied du guide ressort sont imprimés en 3D.

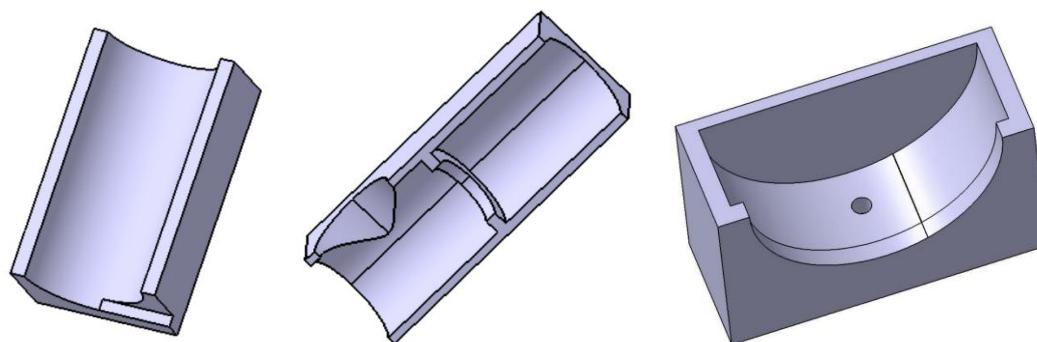


Figure 49 CAO Pièces imprimées en 3D

Méthode :

- Facettisation des pièces dans CATIA pour obtenir des géométries plus précises, notamment pour les formes cylindriques.
- Enregistrement des fichiers sous STL
- Importations des fichiers dans UltiMaker.
- Choix des paramètres : matériaux, support, résolution, remplissage.
- Lancer les impressions

Après avoir produit tous les éléments du carter nous pouvons l'assembler.

L'assemblage des pièces se fait avec de la colle cyanoacrylate. Nous l'utilisons car elle très efficace pour coller divers types de plastique tel que le PLA et le plexiglass, les deux matériaux que nous avons utilisés. Il est nécessaire de nettoyer les surfaces avant d'appliquer la colle afin de maximiser son effet et son efficacité.

C) Piston-Crémaillère

La pièce du piston-crémaillère est essentielle dans notre système car c'est sa liaison avec la chambre de compression qui va permettre de déplacer la quantité d'aire nécessaire à l'éjection de la balle lors du lancer.

Ce piston devant également être lié avec le ressort, nous choisissons de le monter fretté en réalisant une extension

Il est donc primordial de maîtriser l'ajustement entre le piston et la chambre de compression.

Nous décidons alors de mêler l'usinage et l'impression 3D. L'impression nous permet d'imprimer un « brut » de forme complexe composé du piston et la denture ainsi que d'une surépaisseur permettant un usinage.

Screen catia piston

Méthode :

- Conception du piston et de la chambre usinable en CAO
- Rédaction des documents de production (contrats de phase, nomenclature)
- Importation des géométries sur UltiMaker
- Choix des paramètres d'impression
- Impression des éléments
- Usinage au tour conventionnel

Après usinage,

D) Chambre piston

Il est primordial de maîtriser l'ajustement entre le piston. Nous utilisons un tube d'acier de Øext 42 mm et Øint 35 mm. Notre but est d'usiner le diamètre intérieur pour le ramener à la cote qui permettra un ajustement glissant avec le piston : $40+0,05$ mm

Cette opération est délicate car l'épaisseur final de la chambre sera de moins d'un millimètre. Nous réalisons la mise en position de la pièce ainsi que l'usinage avec précautions.

E) Bielle

La bielle et son support sont réalisés en impression 3D au vu de leurs géométries complexes et faibles caractéristiques mécaniques nécessaires.

F) Orientation

Pour réaliser les pièces, nous avons utilisé nombreuses de procédé de fabrication inclus le tournage, l'imprimante 3D et le pliage.

1. L'orientation horizontale

Il y a trois pièces à réaliser pour cette orientation, la partie basse, la partie plaque supérieure et le petit engrenage. Ils vont être réalisés en 3d Imprimante car ils ont la forme complexe. Dès que nous finissons l'imprimante 3d, nous pouvons monter le moteur et les roulements dans la pièce.

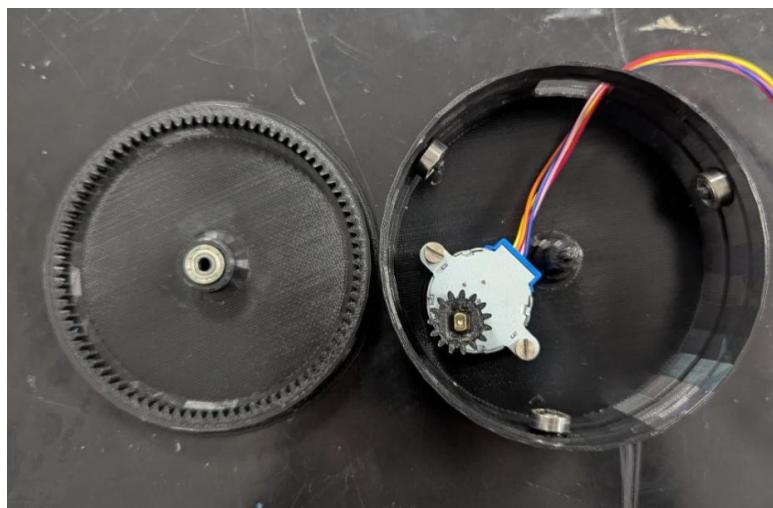


Figure 50 : Pièces orientation horizontale

Il y a aussi la partie d'Arduino pour cette orientation. Voici le schéma d'Arduino :

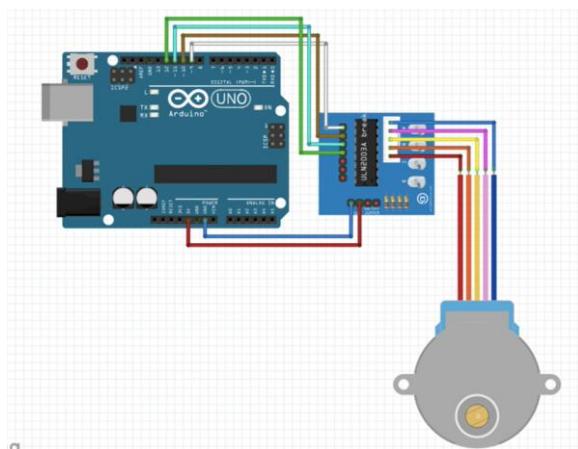


Figure 51 : Schéma ThinkerCad

Voici le montage final :

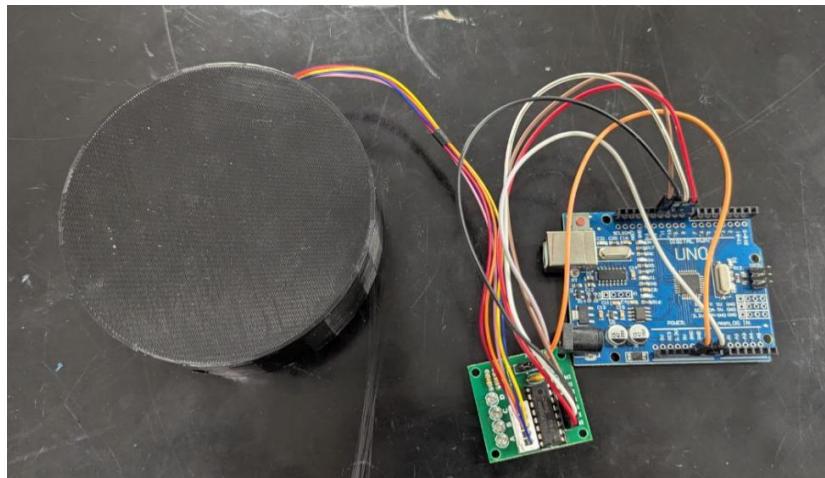


Figure 52 : Montage final orientation horizontale

2. L'orientation verticale

a) L'arbre

Nous avons usiné cette pièce en utilisant le tournage conventionnel.

Nous avons choisi cette méthode parce que la rigidité est importante pour cette

pièce. C'est pour ça que nous utilisons acier pour atteindre la rigidité nécessaire.

Les contrats de phase et nomenclature pour réaliser cette pièce est fourni dans l'annexe.



Figure 52 : Arbre orientation horizontale

B) Piece en U

Afin de pouvoir réaliser cette pièce, nous devons utiliser la procédé de fabrication différente comme le sciage, le pliage et le perçage.

C) Support hauteur réglable

Nous avons choisi la fabrication additive pour réaliser cette pièce afin de faciliter le travail. En plus, j'ai remplacé la goupille avec un vis car le vis est assez rigide pour tenir le poids de notre lanceur.



Figure 53 : Montage orientation verticale

IX - Programmation motorisation

Nous avons choisi un moteur pas à pas, NEMA 23 pour notre lanceur de balle. Pour le faire nous avons besoin des pièces électriques comme l'Arduino Uno R3 et TB6600.



Figure 54 : cartes Arduino

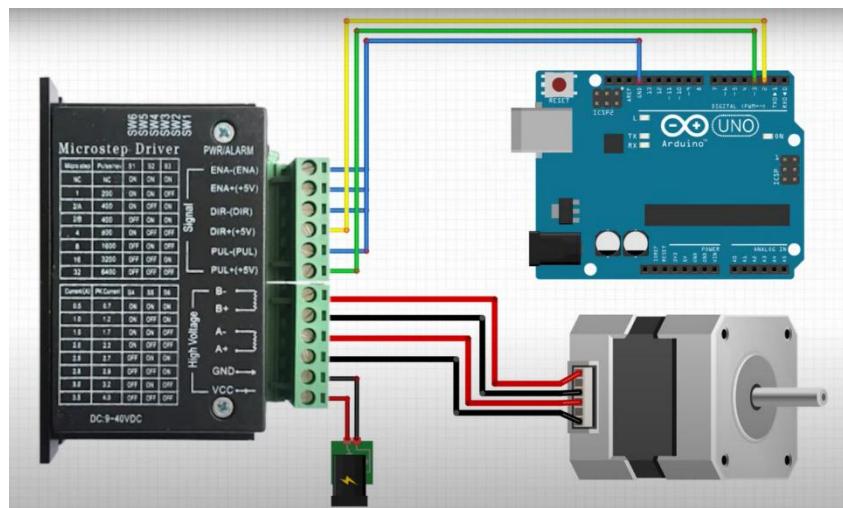


Figure 55 : Schéma Arduino

La programmation d'Arduino

```

1 void setup() {
2   pinMode(2, OUTPUT) ;
3   pinMode(3, OUTPUT);
4   digitalWrite(2, HIGH);
5
6 }
7
8 void loop() {
9   digitalWrite(3, LOW);
10  digitalWrite(3, HIGH);
11  delayMicroseconds(117);
12
13 }
14 // 30 balles/min = 117
15 //25 balles/min = 140
16 //20 balles/min = 175

```

Figure 56 : Code programmation Arduino

Le `delayMicroseconds` est le temps entre chaque pas du moteur. Si nous connaissons la vitesse que nous voulons, nous pouvons le déterminer en `delayMicrosecond`. Par exemple, ça ce sont les données de notre moteur.

Angle/step	0.9
Step/Rev	400
Microstepping	1/8

Pour tirer 30 balles/min, nous avons besoin d'une vitesse de 80 tr/min, établie dans la partie XII)E)Train d'engrenage. Il faut changer la vitesse en delayMicrosecond en utilisant cette formule :

$$\text{delayMicroseconds} = \frac{60 \times 10^6 \times \text{microsteppingFactor}}{2 \times \text{stepsPerRevolution} \times \text{RPM}}$$

60×10^6 est pour convertir minutes en microsecondes.

2 parce qu'un pas complet du moteur nécessite deux impulsions.

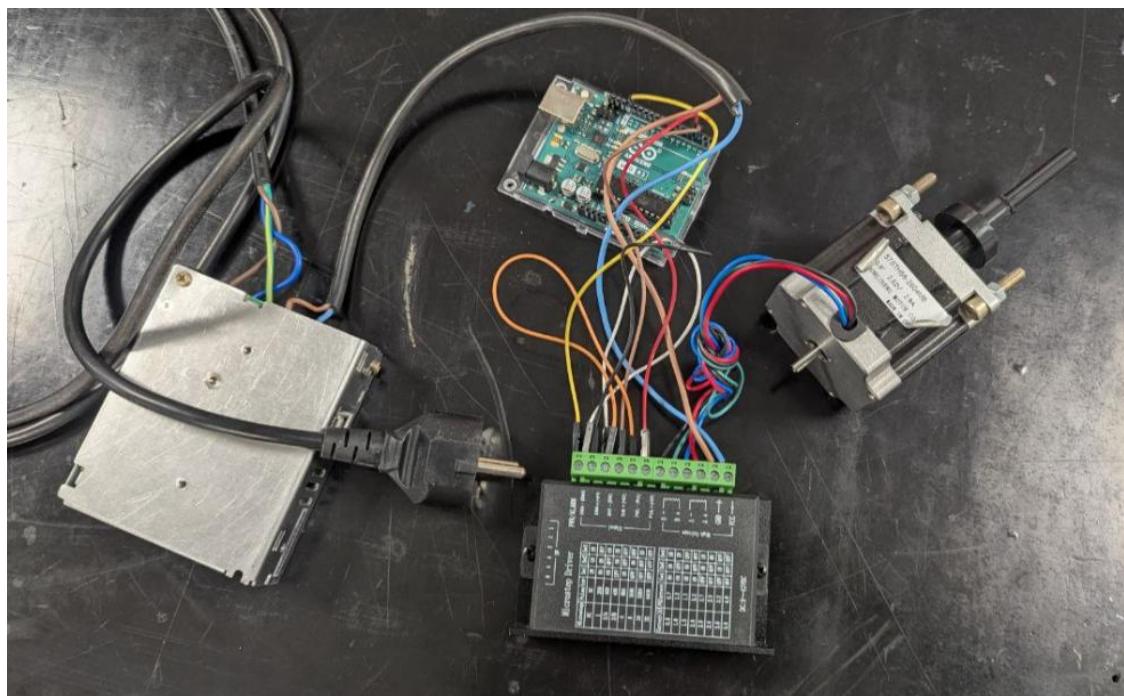


Figure 53 : Partie moteur en réel

X - Bilan et perspectives

A travers ce projet de prototypage d'un lanceur automatique de balle de ping-pong nous avons pu aborder les différentes phases d'avancement d'un projet. Que ce soit en passant par la veille, l'analyse fonctionnelle et cinématique, la notice de calculs, la conception, la fabrication et encore la programmation, nous avons dû avancer malgré les défis et les contraintes dans le but de créer un prototype fonctionnel.

Nous avons dû réinvestir les connaissances et compétences acquises au long des deux années de BUT afin de mener à bien ce projet.

De plus, l'utilisation des méthodes de prototypage rapide tel que l'impression 3D et la découpe laser ont étaient un atout majeur dans la réalisation de notre prototype. Nous avons beaucoup appris sur ces méthodes modernes et futuriste, néanmoins nous sommes conscients qu'elles restent expérimentales et non définitives.

Perspectives :

Pour les futures améliorations et développements du produit, l'objectif est d'améliorer le mécanisme afin de le rendre plus efficace et fiable. Cette amélioration peut notamment être dirigé sur la recherche de matériaux plus adaptés et moins expérimental, en concevant des pièces métalliques par exemple.

Il ne faut pas oublier que les calculs sont basés sur une étude statique du système. Cette vision du problème implique d'ignorer les effets dynamiques de l'air sur la balle et donc d'obtenir des valeurs théoriques ne reflétant pas la réalité. Une étude plus poussée permettrait d'obtenir des valeurs se rapprochant de la réalité, et ainsi améliorer le mécanisme.

XI - Annexes

Figure 54 : Nomenclature chemise

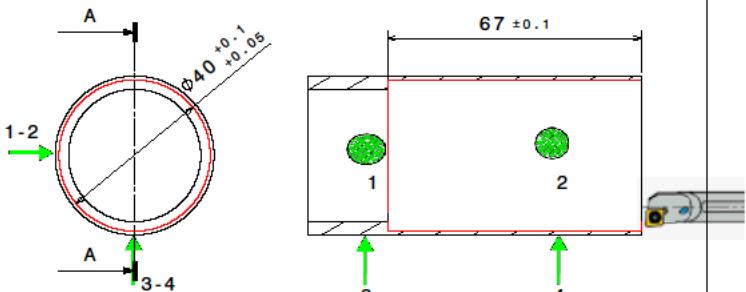
PROJET D'ETUDE DE FABRICATION PHASE 10		BUREAU DES METHODES
Etabli par:Bordes	ELEMENT:Chambre piston	N°:
Le: 06/04/2025	S/Ensemble:XXX	Matière: ACIER
Programme:XXX	Ensemble:Lanceur	Brut:040 * 035 * 88
Désignation: XXX		
Machine outil: Tour RAMO		
		
Désignation de opérations		Paramètres de coupe
		Vc Ap Ae f(z)
XXX	Chariotage Øint 40	SCLCL 180 XXX XXX 0,2
XXX	XXX	XXX XXX XXX XXX

Figure 55 : Phase 10 chemise

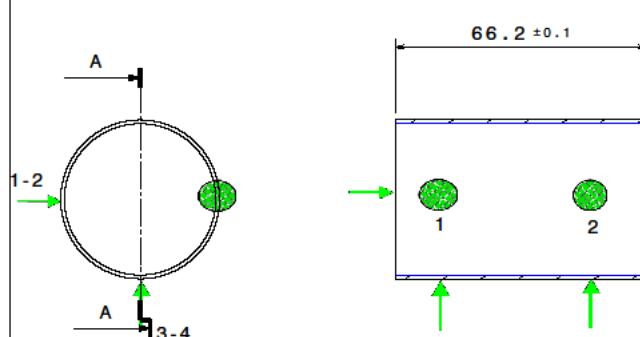
PROJET D'ETUDE DE FABRICATION PHASE 20		BUREAU DES METHODES	
Etabli par:Bordes	ELEMENT: Chambre piston	N°:	
Le: 06/04/2025	S/Ensemble:XXX	Matière: ACIER	
Programme:XXX	Ensemble:Lanceur	Brut: Ø40 * Ø35 * 88	
Désignation: XXX			
Machine outil: SCIE KASTO			
			
Désignation de opérations		Paramètres de coupe	
		Vc Ap Ae f(z) mm/min mm mm/mn(dz)	
XXX	SCIAGE	SCIE KASTO	XXX XXX XXX XXX
XXX	XXX	XXX	XXX XXX XXX

Figure 56 : phase 20 chemise

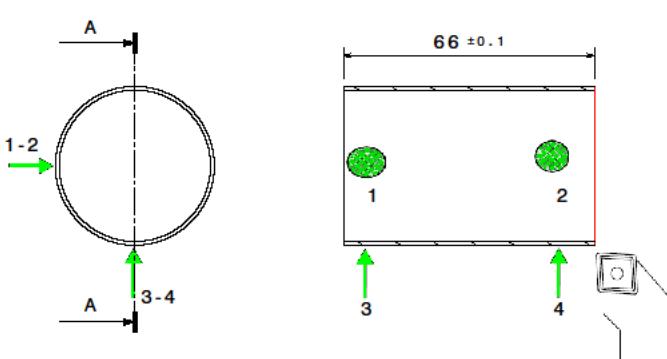
PROJET D'ETUDE DE FABRICATION PHASE 30		BUREAU DES METHODES								
Etabli par:Bordes	ELEMENT: Chambre piston	N°:								
Le: 06/04/2025	S/Ensemble:XXX	Matière: ACIER								
Programme:XXX	Ensemble:Lanceur	Brut: Ø40 * Ø35 * 88								
Désignation: XXX										
Machine outil: TOUR RAMO										
										
Désignation de opérations		Outils								
XXX Dressage		PCLNR								
		Paramètres de coupe								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Vc</th> <th>Ap</th> <th>Ae</th> <th>f(z)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>m/min</td> <td>=</td> <td>=</td> <td>mm/tr (mm)</td> </tr> </tbody> </table>	Vc	Ap	Ae	f(z)	m/min	=	=	mm/tr (mm)
Vc	Ap	Ae	f(z)							
m/min	=	=	mm/tr (mm)							
		180 XXX XXX XXX								

Figure 57

Figure 52 : Nomenclature arbre orientation

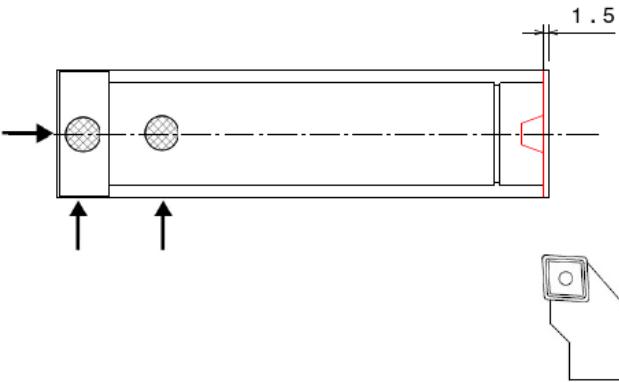
PROJET D'ETUDE DE FABRICATION PHASE 10		BUREAU DES METHODES																																
Etabli par:Alif	ELEMENT: Arbre	N°:																																
Le: 21/3/2025	S/Ensemble:XXX	Matière: Acier																																
Programme:XXX	Ensemble:XXX	Brut:L115 Ø30																																
Désignation: TOURNAGE																																		
Machine outil:RAMO																																		
																																		
Désignation de opérations		Outils <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Paramètres de coupe</th> </tr> <tr> <th>Vc</th><th>Ap</th><th>Ae</th><th>f(z)</th> </tr> <tr> <td>m/min</td><td>mm</td><td>mm</td><td>mm/tr(/dt)</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>80</td><td></td><td>0.5</td><td>0.1</td> </tr> <tr> <td>1000 tr/m</td><td>XXX</td><td>XXX</td><td>manuel</td> </tr> <tr> <td>XXX</td><td>XXX</td><td>XXX</td><td>XXX</td> </tr> <tr> <td>XXX</td><td>XXX</td><td>XXX</td><td>XXX</td> </tr> <tr> <td>XXX</td><td>XXX</td><td>XXX</td><td>XXX</td> </tr> </tbody> </table>	Paramètres de coupe				Vc	Ap	Ae	f(z)	m/min	mm	mm	mm/tr(/dt)	80		0.5	0.1	1000 tr/m	XXX	XXX	manuel	XXX											
Paramètres de coupe																																		
Vc	Ap	Ae	f(z)																															
m/min	mm	mm	mm/tr(/dt)																															
80		0.5	0.1																															
1000 tr/m	XXX	XXX	manuel																															
XXX	XXX	XXX	XXX																															
XXX	XXX	XXX	XXX																															
XXX	XXX	XXX	XXX																															
a) Dressage	PCLNR																																	
b) Centrage	Foret à centrer																																	
XXX XXX	XXX																																	
XXX XXX	XXX																																	
XXX XXX	XXX																																	

Figure 53 : Phase 10 arbre orientation

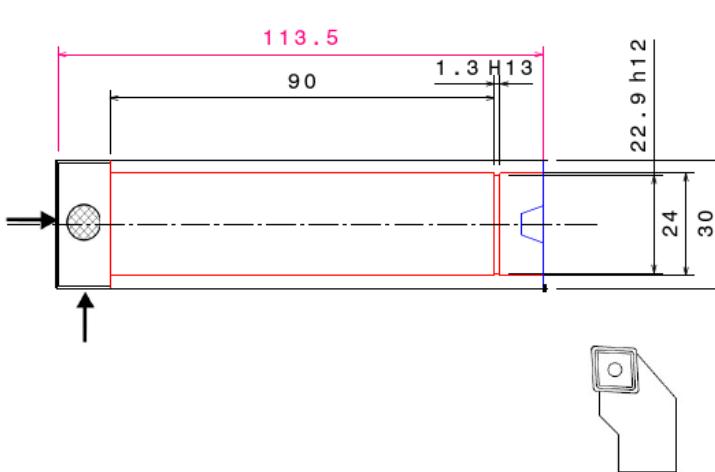
PROJET D'ETUDE DE FABRICATION PHASE 20		BUREAU DES METHODES
Etabli par:Alif	ELEMENT: Arbre	N°:
Le: 26/3/2025	S/Ensemble:XXX	Matière:Acier
Programme:1 piece	Ensemble:XXX	Brut:L115 030
Désignation: Tournage		
Machine outil:Ramo		
		
Désignation de opérations		Outils
		Paramètres de coupe
		Vc Ap Ae f(z)
		m/min mm mm mm/tr/rot
a) Chariotage ebauche	PCLNR	100 1 XXX 0.3
b) Charitage fintion	PCLNR	120 0.4 XXX 0.1
c) Realisation de la gorge	Outil a gorge	15 XXX XXX manu
XXX XXX	XXX	XXX XXX XXX
XXX XXX	XXX	XXX XXX XXX

Figure 54 : Phase 20 arbre orientation

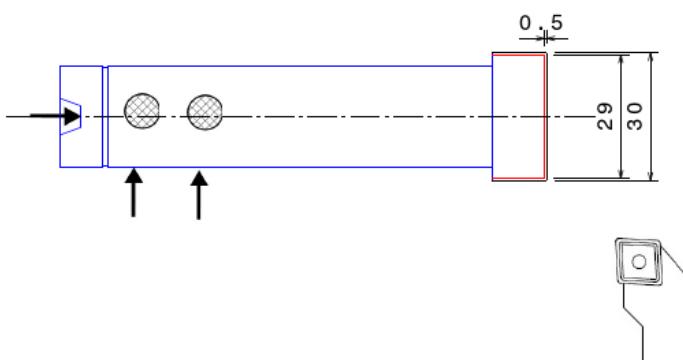
PROJET D'ETUDE DE FABRICATION PHASE 30		BUREAU DES METHODES				
Etabli par:XXX	ELEMENT: XXX	N°:				
Le: 26/3/2025	S/Ensemble:XXX	Matière:XXX				
Programme:XXX	Ensemble:XXX	Brut:XXX				
Désignation: XXX						
Machine outil: XXX						
 						
Désignation de opérations		Outils	Paramètres de coupe			
			Vc	Ap	Ae	f(z)
a)	Dressage	PCLNR	80	XXX	0.5	0.1
b)	Chariotage	PCLNR	100	1	XXX	0.3
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX

Figure 55 : Phase 30 arbre orientation

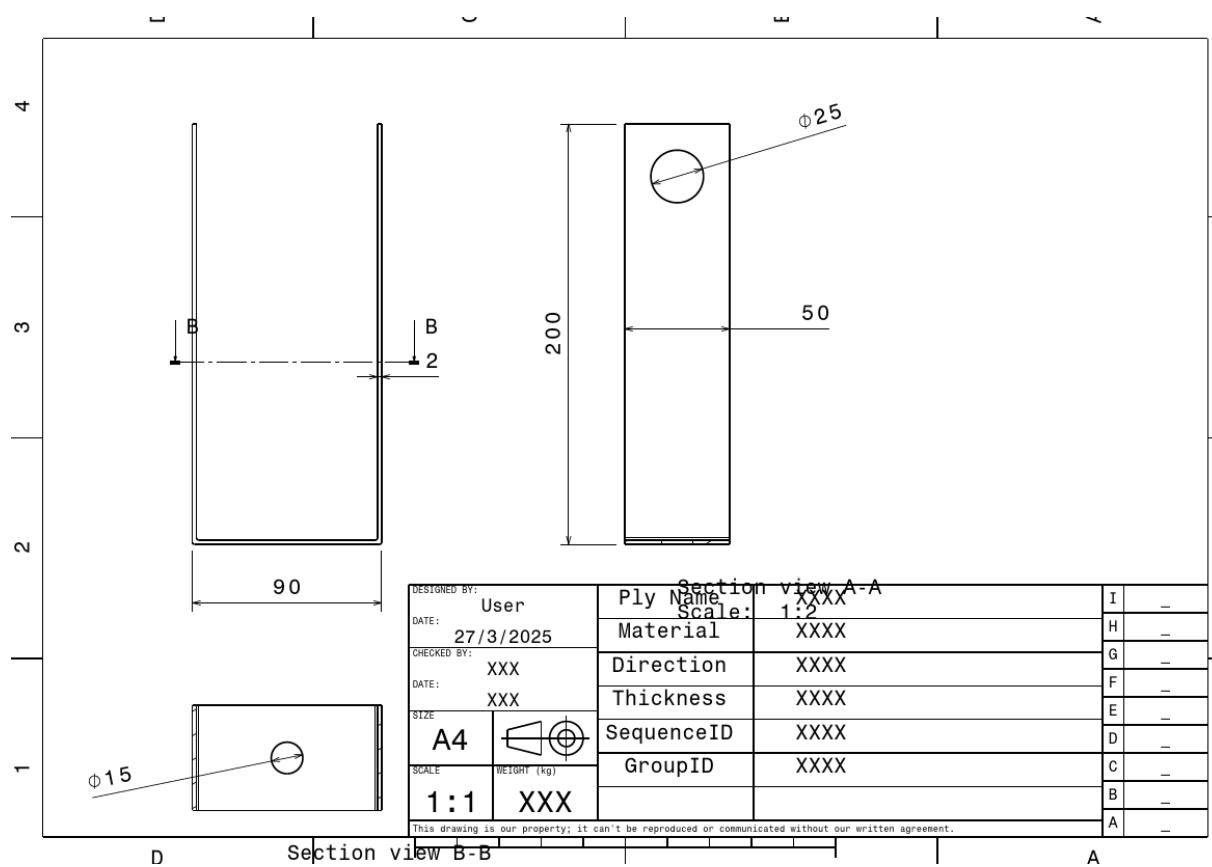


Figure 56 : Dessin définition de la pièce en U

```

1  |
2  #define STEPPER_PIN_1 9
3  #define STEPPER_PIN_2 10
4  #define STEPPER_PIN_3 11
5  #define STEPPER_PIN_4 12
6  int step_number = 0;
7  void setup() {
8    pinMode(STEPPER_PIN_1, OUTPUT);
9    pinMode(STEPPER_PIN_2, OUTPUT);
10   pinMode(STEPPER_PIN_3, OUTPUT);
11   pinMode(STEPPER_PIN_4, OUTPUT);
12 }
13 }
14
15 void loop() {
16
17   for ( int a = 0; a<1000;a++)
18   {
19     OneStep(false);
20     delay(2);
21   }
22   for ( int a = 0; a<1000;a++)
23   {
24     OneStep(true);
25     delay(2);
26   }
27 }
28
29
30 }
31 }
32 }

33 void OneStep(bool dir){
34   if(dir){
35     switch(step_number){
36       case 0:
37         digitalWrite(STEPPER_PIN_1, HIGH);
38         digitalWrite(STEPPER_PIN_2, LOW);
39         digitalWrite(STEPPER_PIN_3, LOW);
40         digitalWrite(STEPPER_PIN_4, LOW);
41         break;
42       case 1:
43         digitalWrite(STEPPER_PIN_1, LOW);
44         digitalWrite(STEPPER_PIN_2, HIGH);
45         digitalWrite(STEPPER_PIN_3, LOW);
46         digitalWrite(STEPPER_PIN_4, LOW);
47         break;
48       case 2:
49         digitalWrite(STEPPER_PIN_1, LOW);
50         digitalWrite(STEPPER_PIN_2, LOW);
51         digitalWrite(STEPPER_PIN_3, HIGH);
52         digitalWrite(STEPPER_PIN_4, LOW);
53         break;
54       case 3:
55         digitalWrite(STEPPER_PIN_1, LOW);
56         digitalWrite(STEPPER_PIN_2, LOW);
57         digitalWrite(STEPPER_PIN_3, LOW);
58         digitalWrite(STEPPER_PIN_4, HIGH);
59         break;
60     }
61   }
62 }else{
63   switch(step_number){
64     case 0:
65       digitalWrite(STEPPER_PIN_1, LOW);
66       digitalWrite(STEPPER_PIN_2, LOW);
67       digitalWrite(STEPPER_PIN_3, LOW);
68       digitalWrite(STEPPER_PIN_4, HIGH);
69       break;
70     case 1:
71       digitalWrite(STEPPER_PIN_1, LOW);
72       digitalWrite(STEPPER_PIN_2, LOW);
73       digitalWrite(STEPPER_PIN_3, HIGH);
74       digitalWrite(STEPPER_PIN_4, LOW);
75       break;
76     case 2:
77       digitalWrite(STEPPER_PIN_1, LOW);
78       digitalWrite(STEPPER_PIN_2, HIGH);
79       digitalWrite(STEPPER_PIN_3, LOW);
80       digitalWrite(STEPPER_PIN_4, LOW);
81       break;
82     case 3:
83       digitalWrite(STEPPER_PIN_1, HIGH);
84       digitalWrite(STEPPER_PIN_2, LOW);
85       digitalWrite(STEPPER_PIN_3, LOW);
86       digitalWrite(STEPPER_PIN_4, LOW);
87
88   }
89 }
90 step_number++;
91 if(step_number > 3){
92   step_number = 0;
93 }
94 }
```

Figure 57 Code Arduino, partie orientation horizontale

PROJET D'ETUDE DE FABRICATION PHASE 10		BUREAU DES METHODES
Etabli par: AAF	ELEMENT: Piston - crémaillère	N°:
Le: 26/03/2025	S/Ensemble:	Matière: PLA
Programme:	Ensemble: Gearbox	Brut: Impréssion 3D
Désignation: XXX		
Machine outil: Tour RAMO		
Désignation de opérations	Outils	Paramètres de coupe
		Vc Ap Ae f(z) m/min mm mm mm/tr (dt)
1 Centrage contre-pointe	Forêt à centrer	XXX XXXX XXX XXX
2 MIP contre-pointe	Contre-Pointe	
3 Chariotage	PDJNR	20 XXX XXX XXX
XXX XXX	XXX	XXX XXXX XXX XXX
XXX XXX	XXX	XXX XXX XXX XXX

Figure 58 : Phase 10 Piston-Crémaillère

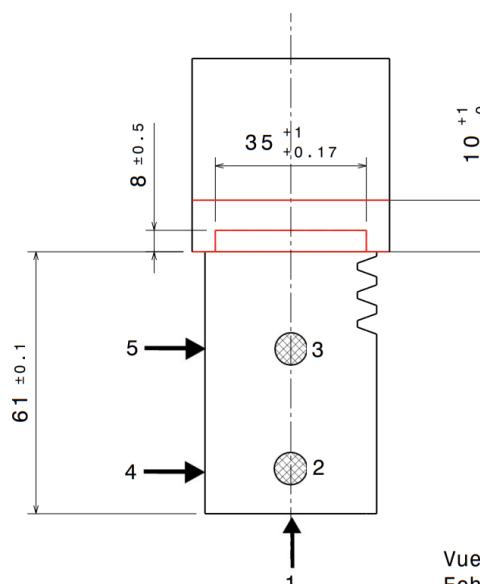
PROJET D'ETUDE DE FABRICATION PHASE 20		BUREAU DES METHODES
Etabli par: AAF	ELEMENT:Piston - crémaillère	N°:
Le: 26/03/2025	S/Ensemble:	Matière: PLA
Programme:	Ensemble:Gearbox	Brut:Impréssion 3D
Désignation:		
Machine outil:Tour RAMO		
 <p style="text-align: center;">Vue de face Echelle : 1:1</p>		
Désignation de opérations		Outils
		Paramètres de coupe
		Vc Ap Ae f(z)
		m/min mm mm mm/tr(dt)
1	Tronconage	20 XXX XXX XXX
2	dressage	20 XXX XXX XXX
3	Chariotage	20 XXX XXX XXX
4		
5		

Figure 59 : Phase 20 : Piston-Crémaillère