

# Projet boîte casse-tête

## Membres :

Raphael Vandersippe

Tal Cohen

Cyril de Montlaur

## Cube paradoxe

### 1. Introduction

Dans le cadre de l'UE UM4RBM20, il nous a été demandé de concevoir et de fabriquer un objet mécanique complet, comportant au moins un mécanisme et un assemblage, en mobilisant au minimum deux machines du Fablab.

Le projet que nous avons choisi est un casse-tête cubique "XXL", inspiré des boîtes de puzzle et des escape rooms. L'idée centrale est simple : proposer à l'utilisateur une progression logique où chaque énigme résolue ouvre l'accès à la suivante, jusqu'à l'ouverture finale de la boîte intérieure. L'idée derrière ce choix était de concevoir des mécanismes fonctionnels tout en construisant quelque chose d'immersif.

L'objet se compose de deux boîtes en MDF. La boîte extérieure est verrouillée par un cadenas à coulisse qu'il faut résoudre pour accéder à la boîte intérieure. Celle-ci, de 24x24 cm, présente six faces avec des énigmes à résoudre dans un ordre défini pour obtenir le code permettant d'ouvrir la porte finale, verrouillée par un cadenas à chiffres, fabriqué par nous memes.

Les machines mobilisées sont principalement la découpeuse laser Trotec Speedy 360 et l'imprimante 3D Prusa M3KS, complétées par la fraiseuse et la ponceuse. La modélisation a été réalisée sous SolidWorks et Fusion 360, avec Inkscape pour la préparation des fichiers laser et PrusaSlicer pour slicer les modèles pour l'impression 3D.



## 2. Concept du Casse-Tête

### 2.1 Principe général

Dès le départ, on se retrouve face à la boîte extérieure, verrouillée par un cadenas à coulisse visible à travers un panneau en plexiglas. Pour l'ouvrir, il faut déplacer un jeu de pièces en bois qui glissent à l'intérieur du cadre, libérant progressivement une barre de blocage. Une fois le cadenas retiré, un tiroir coulissant s'ouvre et révèle la boîte intérieure.

La boîte intérieure présente six faces, chacune portant une énigme. Quatre d'entre elles sont connectées entre elles et doivent être résolues dans un ordre précis. Le but final est d'obtenir le code à chiffres pour ouvrir le cadenas de la porte.

### 2.2 Étapes

#### Étape 0 : Le cadenas à coulisse

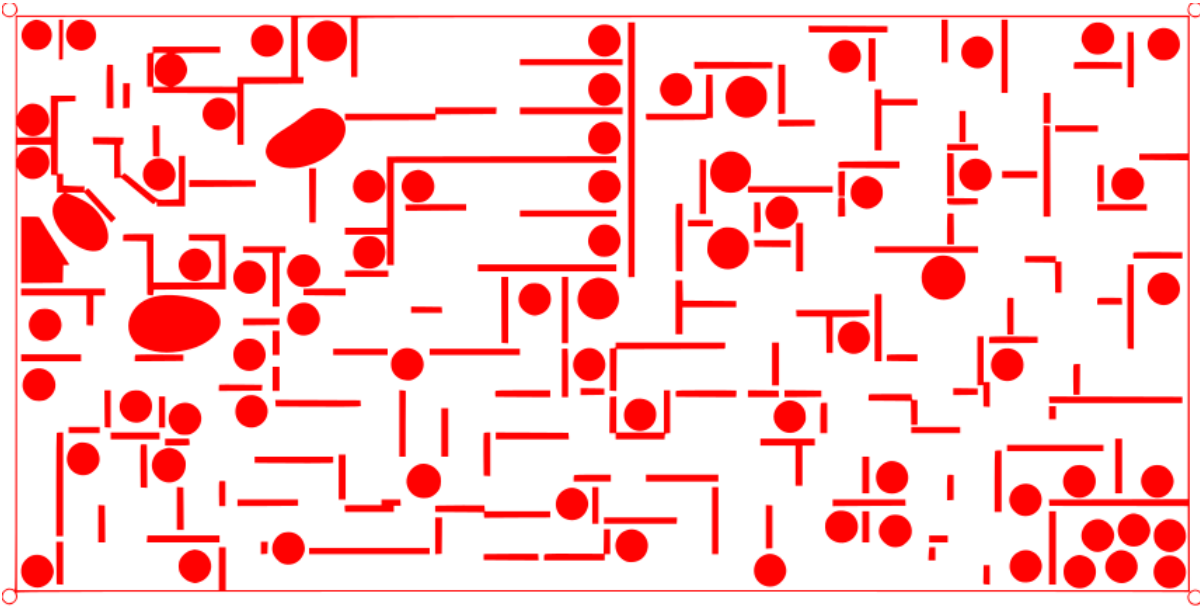
Premier obstacle : à travers le plexiglas, l'utilisateur manipule des pièces en bois glissantes pour dégager une barre de verrouillage. C'est un mécanisme de type sliding block puzzle. Une fois la barre libérée, le cadenas se retire et le tiroir d'accès peut être ouvert.

#### Étape 1 : Le puzzle QR code

Une face de la boîte intérieure présente un taquin à 15 pièces dans une grille 4x4. Les pièces, une fois correctement repositionnées en les glissant, forment un QR code. Lorsqu'il est scanné, il délivre un premier indice pour le code final. Cette face peut être résolue à n'importe quel moment de la progression.

#### Étape 2 : Le labyrinthe et la boîte à vitesses

Une des faces est un labyrinthe incrusté avec une bille en métal : le trajet est masqué, l'utilisateur doit incliner la boîte pour guider la bille vers la sortie.



La face à côté est un jeu de « boîte à vitesses » : une face superposée se déplace par translation sur la boîte en suivant une tige en bois.

### Étape 3 : Le système de miroirs

Une face présente un trou circulaire dans lequel s'insère une clé imprimée en 3D. La rotation de cette clé actionne un premier miroir incliné à l'intérieur de la boîte. Ce miroir réfléchit un faisceau lumineux vers un second, puis un troisième miroir, qui oriente finalement l'image vers une face visible. L'utilisateur doit illuminer de l'extérieur à travers trois trous spécifiques pour lire l'indice révélé par le jeu de réflexions.



### Étape 4 : Les disques à symboles

Une face présente quatre disques rotatifs gravés au laser avec des symboles différents. La bonne combinaison, déduite des indices précédemment récoltés, doit être mise pour permettre à la clé de tourner pour révéler l'indice suivant.

### Étape 5 : L'IQ Gears

Cet IQ fera-t-il tourner votre cerveau à toute vitesse ?

Placez tous les engrenages à l'intérieur du plan de jeu afin de créer une chaîne reliant la molette de gauche à celle de droite. Si l'action de l'une des deux molettes fait tourner l'autre, vous avez réussi?!



impression complexe. Les engrenages principaux sont en MDF découpé au laser. Le plexiglas est utilisé pour la fenêtre du cadenas extérieur, permettant de voir le mécanisme sans pouvoir interagir directement avec lui.



### 3.3 Les sous-systèmes mécaniques

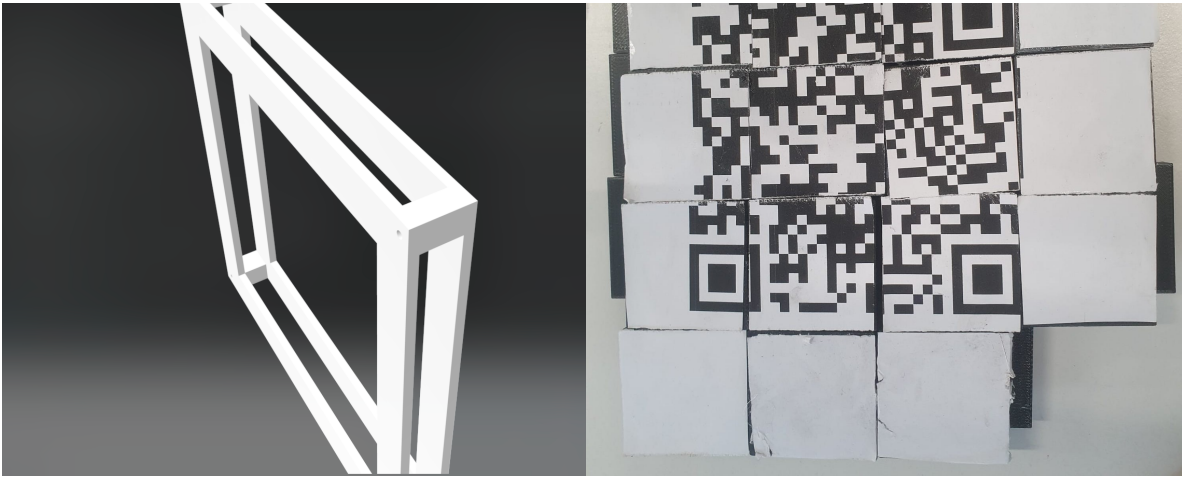
#### 3.3.1 Cadenas à coulisse extérieur

Le cadenas à coulisse est un sliding block puzzle encadré dans la boîte extérieure. Les pièces en bois glissent dans un rail. Leur déplacement dans le bon ordre libère la barre de blocage centrale, ce qui permet de retirer le cadenas et d'ouvrir le tiroir d'accès.



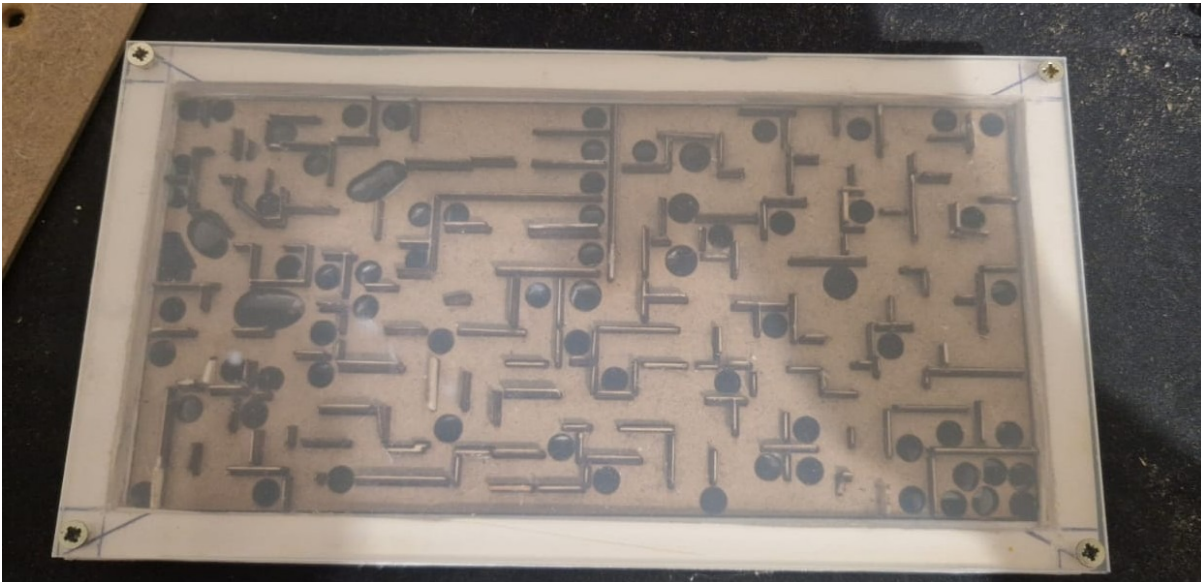
#### 3.3.2 Puzzle QR code coulissant

Le puzzle QR code est un taquin à 15 pièces dans une grille 4x4. Chaque pièce est imprimée en 3D qui s'insère dans le cadre, également imprimé en 3D. Le glissement d'une pièce dans la case vide permet de déplacer progressivement l'ensemble pour reconstituer l'image du QR code.

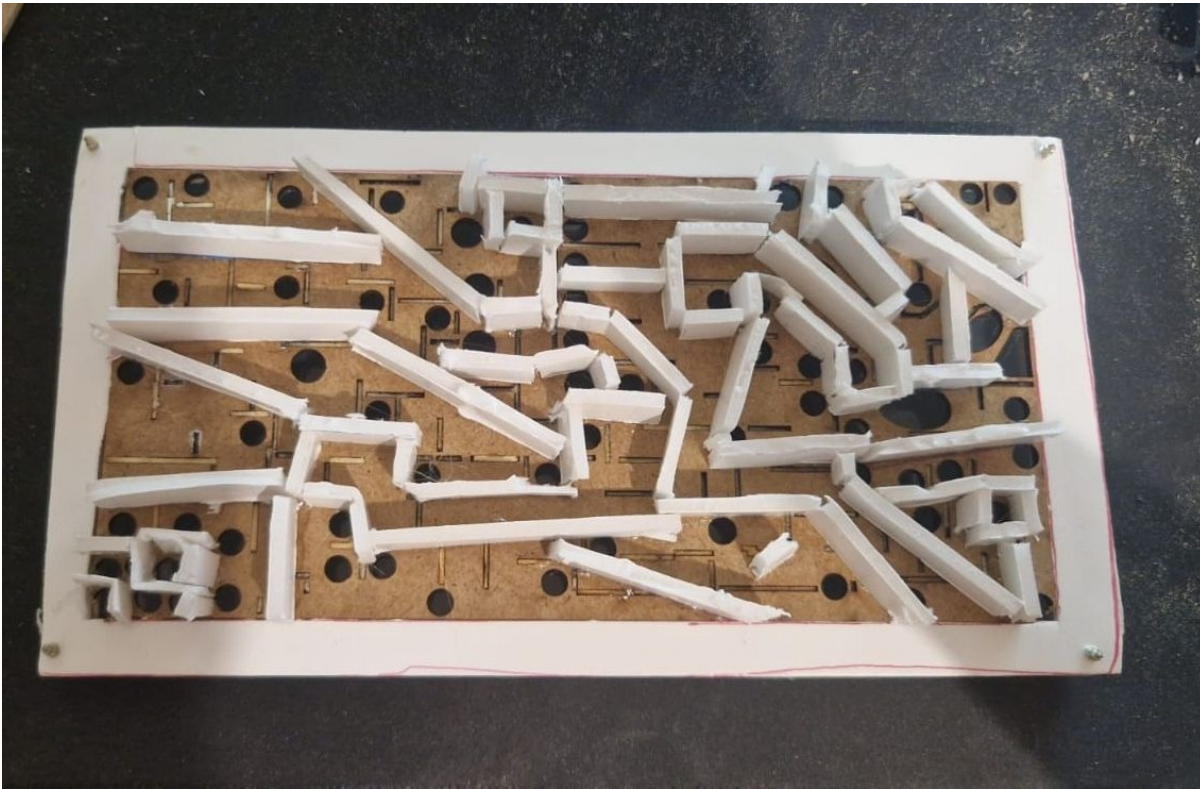


### 3.3.3 Labyrinthe à bille

Une bille en acier est guidée dans un labyrinthe dont les trajets possibles sont visibles à travers un plexiglas. L'exploration se fait par tâtonnement, en inclinant la boîte.



Face avant



Face arrière



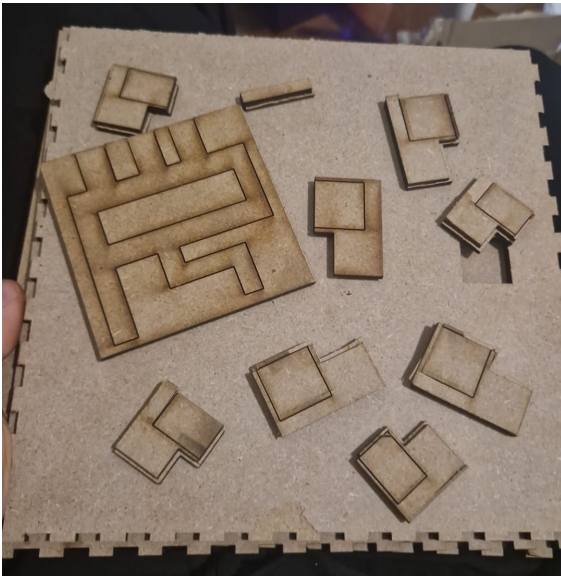
logée dans son trou final, combiné à un aimant (le crochet de l'image suivante)  
pour une pièce intérieure et de libérer la rotation du bouton du disque à symbole.



### 3.3.4 Boîte à vitesses

Une tige rigide doit suivre un trajet spécifique découpé dans une plaque de MDF, d'une face à l'autre de la boîte. La sortie de la tige par le trou exact sur la face adjacente permet de faire sortir un disque.

**Enfin cette face n'a pas abouti.**



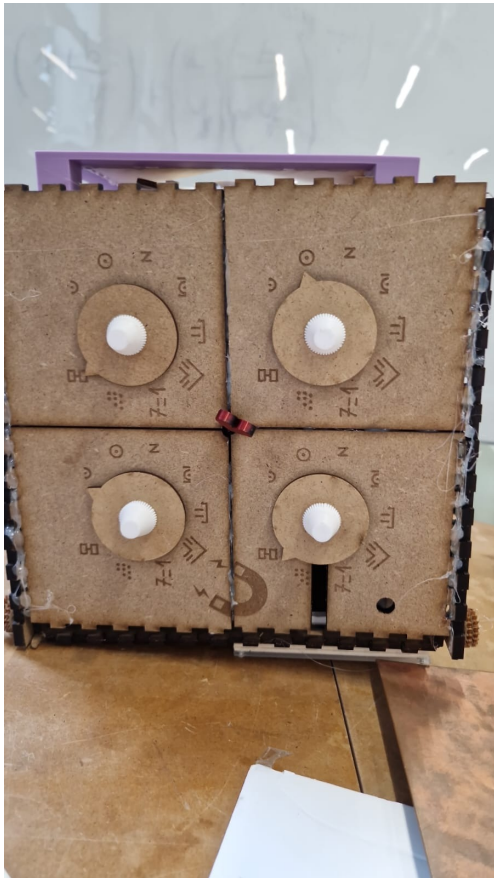
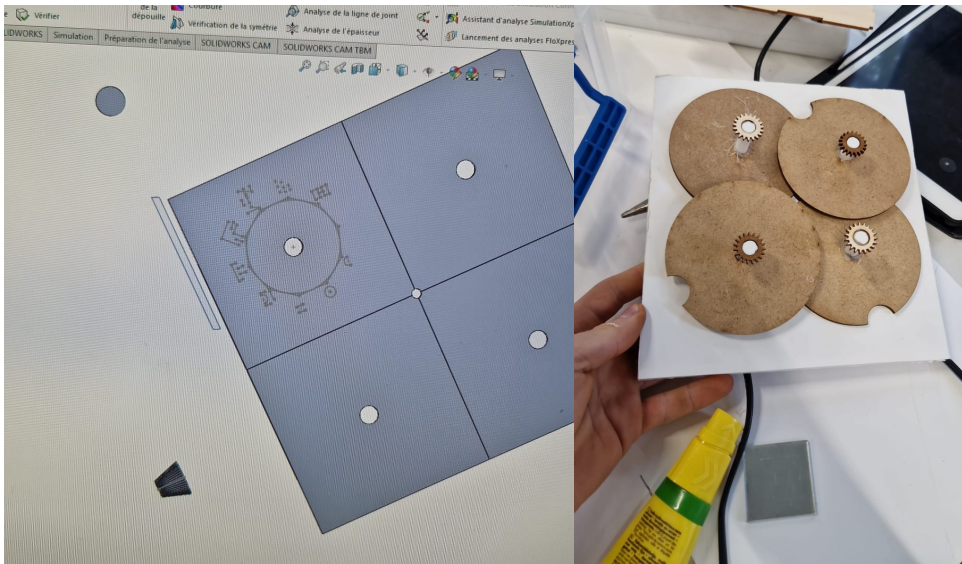
### 3.3.5 Système de réflexion par miroirs

Une clé imprimée en 3D s'insère dans un trou circulaire de la face et, par rotation, actionne un premier miroir à l'intérieur. Ce miroir renvoie vers un second (dont la direction est contrôlée par le dernier engrenage du IQ Gear) , puis un troisième, qui oriente finalement la réflexion vers les trous de lecture de la face opposée. L'utilisateur éclaire de l'extérieur pour lire l'indice réfléchi.



### 3.3.6 Disques à symboles

Quatre disques rotatifs sont montés sur axe. Chaque disque est gravé au laser de symboles distincts. La rotation individuelle de chaque disque vers la bonne position forme la combinaison finale et permet de faire tourner la clé.



3.3.6 IQ Gears



Cadre extérieur (de récupération) et petites pièces en plastique. Cadre intérieur et engrenages en MDF 3mm.

### 3.3.7 Engrenages et verrou final

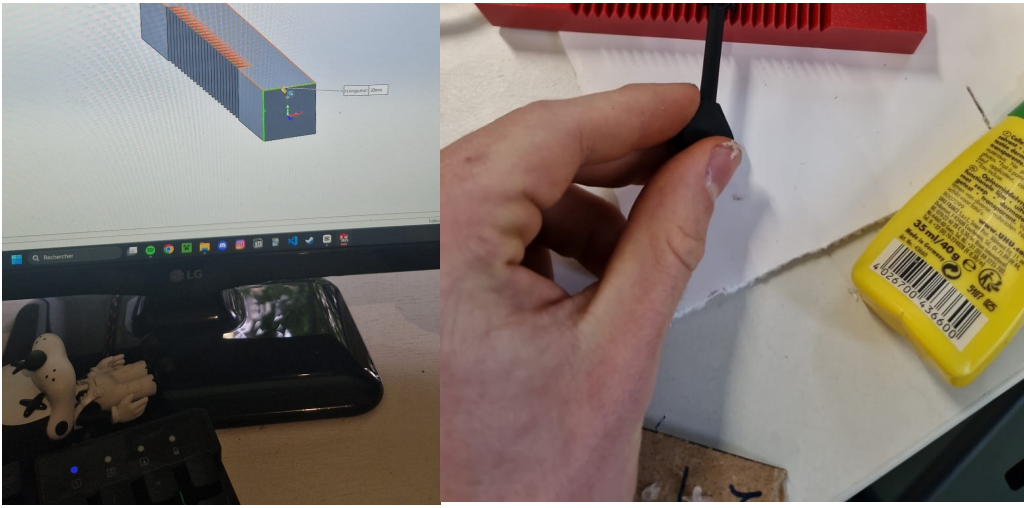
Pour le train d'engrenages, on utilise la formule fondamentale liant module ( $m$ ), nombre de dents ( $Z$ ) et diamètre primitif ( $d$ ) :

$$d = m \times Z$$

Et pour les entraxes :

$$a = m \times (Z1 + Z2) / 2$$

Le verrou final est une tige imprimée en 3D qui, une fois tournée dans la bonne position, se désengage mécaniquement et libère la porte de la boîte intérieure.

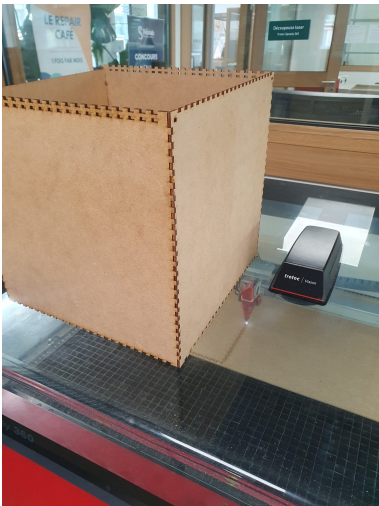


Cette partie étant dépendante de tous les autres mécanismes, nous n'avons pas pu la finaliser.

## 4. Machines utilisés

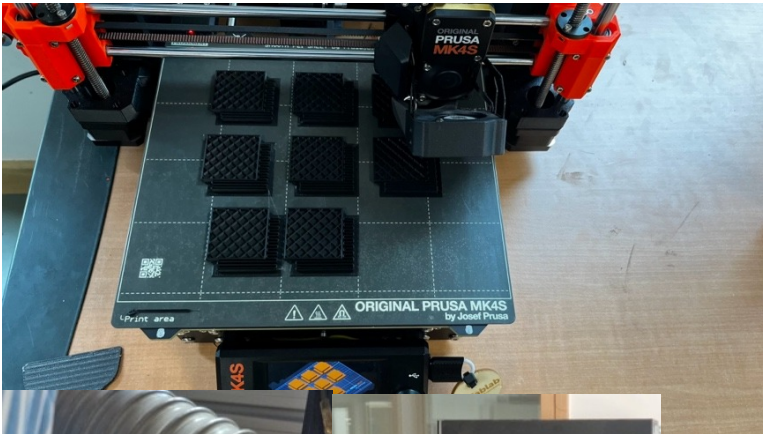
### 4.1 Découpe laser

La découpeuse laser a été la machine centrale du projet. Elle a servi à découper le MDF pour les deux boîtes et leurs faces, le contreplaqué pour les engrenages, et le plexiglas pour la fenêtre du cadenas extérieur. Elle a également été utilisée pour la gravure des symboles sur les disques.



### 4.2 Impression 3D

L'impression 3D a été utilisée pour toutes les pièces nécessitant une géométrie précise ou une forme non plane : le cadre et les 15 pièces du taquin QR code, la clé du système miroir, le verrou à tige, et les deux cadenas. On a utilisé solidworks et fusion 360 pour modéliser nos pièces puis pour les "slice" c'est-à-dire les préparer pour l'impression 3D on a utilisé PrusaSlicer, pour obtenir un fichier G-code.



#### 4.4 Ponceuse

La ponceuse a été utilisée pour ajuster des pièces dont les dimensions post-impression ne correspondaient pas aux tolérances prévues.



## 5. Tolérances, Jeux et Ajustements

### 5.1 Mécanismes

L'objet étant entièrement centré sur des mécanismes de glissement et de rotation, il fallait trouver un bon équilibre pour permettre une bonne prise en main. Un jeu trop faible bloque le mécanisme ; un jeu trop grand le rend imprécis ou donne la solution à l'utilisateur. Les deux cas de figure ont été rencontrés sur ce projet.

### 5.2 Ajustements réalisés

#### Cadenas

Les pièces dans le cadenas ne doivent pas avoir de jeu, afin de bloquer leur rotation et ne permettre que de la translation. Quelques ajustements ont été réalisés. Les fixations du plexis à la boîte sont un peu trop justes.

#### Puzzle QR code

La première version du cadre imprimé ne laissait pas assez d'espace dans les angles pour permettre aux pièces de passer sans bloquer. Après deux impressions problématiques (les deux s'étant arrêtées en plein milieu), la solution choisie a été de poncer les angles intérieurs du cadre à la ponceuse, ce qui a redonné le jeu nécessaire.

Les pièces elles-mêmes avaient été modélisées avec une tolérance trop faible avec les pièces entre-elles. La force nécessaire pour les déplacer était incompatible avec un usage fluide. Une diminution de l'épaisseur interne de chaque pièce a été faite.

#### Boîte à vitesses

Après découpe laser de la face portant le trajet de la boîte à vitesses et de la face adjacente avec le trou de sortie, un décalage de quelques millimètres entre les deux empêchait le disque de ressortir. Ce décalage n'avait pas été anticipé lors de l'assemblage. Il a été corrigé en élargissant le trou manuellement à la scie.

#### Clé du système miroir

Le diamètre du trou d'insertion de la clé était supérieur à celui de la clé. Ce jeu important autorisait des déplacements interdits alors que seule la rotation gauche-droite devrait être possible. En plus cette ouverture laissait visible l'intérieur de la boîte, ce qui dévoilait l'indice des miroirs sans avoir résolu l'énigme. A cause d'un problème lié à la connexion avec l'énigme IQ gear et l'intérieur de la boîte, nous n'avons pas pu faire

### **Les disques à symboles**

Assemblage complexe à la main des pièces dans un espace restreint.

Fixer les pièces à l'intérieur.

Synchroniser tous les mécanismes des faces.

### **IQ Gears**

Problème d'impression 3D du cadre du jeu. Un nombre important d'engrenages en rotation les uns avec les autres créent beaucoup de frictions, ce qui ralentit le système. Les engrenages sont posés sur des écrous M8, ceux-ci ne sont finalement pas assez large, on a dû faire fondre du plastique avec des écrous plus larges (M10) pour les faire tenir.

### **Les engrenages et le verrou final**

## **6. Résultats**

L'ensemble du casse-tête est semi-fonctionnel. La plupart des faces fonctionnent indépendamment. Nous avons effectivement visé très haut et sommes arrivés à plusieurs résultats. Toutefois, le temps alloué est très important, nous sommes venu régulièrement au Fablab et avons passé des soirées entières de conception et de montage.

### **Bonus**

Détails esthétiques : Nous avons essayé de rajouter des pochoirs sans succès car il fallait probablement utiliser un matériau plus fin que le peuplier 3mm, comme une feuille. On a donc décidé de coller les pochoirs directement sur les faces de la boîte.

## **7. Perspectives d'Amélioration**

Nous connaissons les problèmes de notre casse-tête, et donc les pistes d'amélioration. Avec plus de temps, nous serons en capacité de le terminer.

## **8. Conclusion**

Ce projet nous a permis de couvrir toute la chaîne de fabrication numérique, de la modélisation à l'assemblage final, en mobilisant découpe laser, impression 3D, fraiseuse et ponceuse. Les difficultés rencontrées : tolérances mal calibrées, problèmes d'impression, solutions alternatives à trouver en cours de route.

Le résultat final est un objet qui fonctionne, jouable, qui remplit son objectif : un casse-tête progressive avec une logique de progression. Si certaines finitions restent perfectibles, l'ensemble mécanique fonctionne.

---

Revision #5

Created 15 April 2026 08:23:22 by De Villardi De Montlaur Cyril

Updated 5 May 2026 13:16:18 by De Villardi De Montlaur Cyril