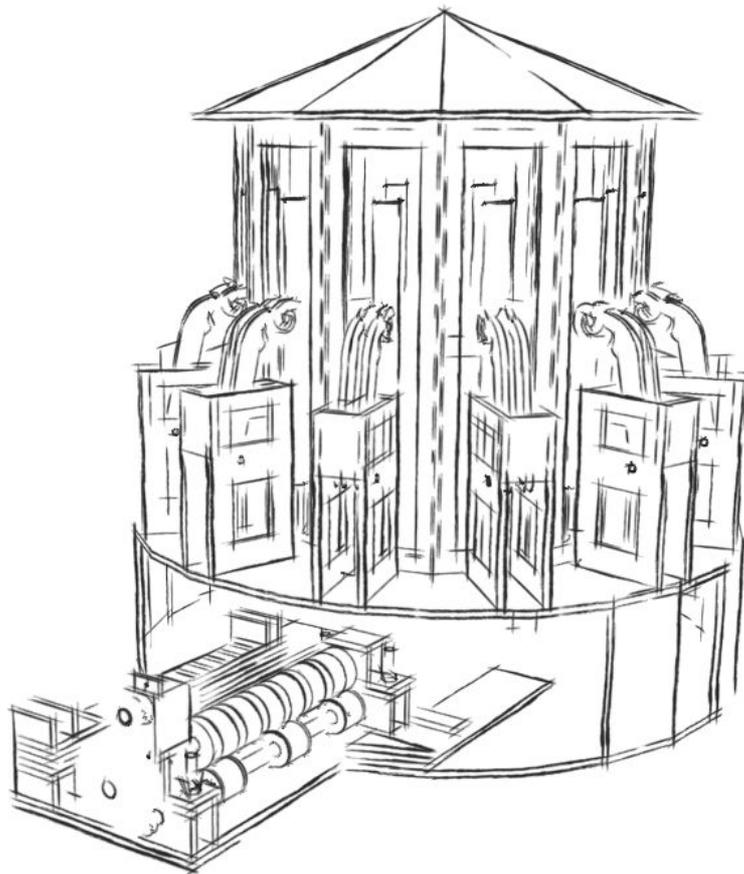


Emile OHIER  
Fablab - La Fabrique

# Allegro Barbaro

La boîte à musique électromécanique



# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>Historique du projet</b>	<b>4</b>
<b>Description de l'instrument</b>	<b>13</b>
<b>Schéma électrique complet</b>	<b>14</b>
<b>Programmation</b>	<b>14</b>

# Introduction

Allegro Barbaro est né d'une volonté de créer un instrument de musique électronique, en utilisant au maximum les outils mis à disposition par le Fablab d'Amanlis. Mon choix s'est rapidement tourné vers un instrument à percussion, et l'idée première était de réaliser un xylophone mécanique qui pourrait reproduire différentes mélodies.

Le projet a ensuite évolué pendant 1 an, jusqu'à sa version finale achevée en mai 2017. Pour cette version, l'objet est devenu une sorte de carillon programmable, une boîte à musique capable de reproduire différentes musique préenregistrés.

Ce dossier a pour objectif de retracer les différentes phases de la conception de Allegro Barbaro, et de présenter en détail son fonctionnement

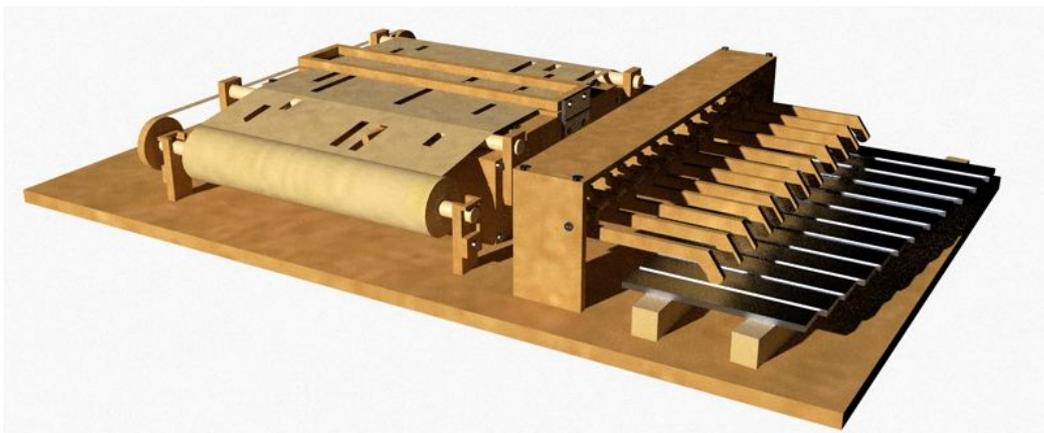
# Historique du projet

La première version d'Allegro Barbaro suivait un concept simple: fabriquer un xylophone équipé de petits bras mécanique, et lire des musiques enregistrés sur des bandes de papier, à la manière d'une bande cartonnée d'orgue de barbarie



*Système de lecture de bande carton  
d'un orgue de barbarie*

Cet première version était ainsi composé de deux parties: Un système de lecture de bande et un xylophone sur lequel venait frapper des marteaux de bois. J'ai commencé par m'atteler à la réalisation du xylophone, en choisissant d'utiliser des lames d'aluminium.



*Modélisation 3D de la première version d'Allegro Barbaro*

Très vite, il est apparu que ce matériau ne produisait pas un très beau son. C'est ainsi que les lames d'aluminium ont été remplacées par des tubes de cuivre, au son plus harmonieux. Pour accorder ces tubes de cuivre, j'ai utilisé une formule qui relie la longueur d'un tube à la hauteur de la note qu'ils produisent. A l'aide d'un accordeur, d'une scie et d'une lime, j'ai pu réaliser 12 tubes accordés sur un octave de demi-ton en demi-ton. Une fois le xylophone réalisé, il a fallu se pencher sur la construction des marteaux électro-commandés. La première solution retenue a été de réaliser des petits marteaux en bois fixés sur un axe, et mis en mouvement par des électroaimants. Pour élaborer les électroaimants, j'ai récupéré les noyaux de fer en découpant des sardines de camping, et j'ai effectué un bobinage à l'aide de fil de cuivre émaillé. Le premier constat a été que ces électroaimants avaient une force limitée.



*Electroaimant fabriqué par bobinage*

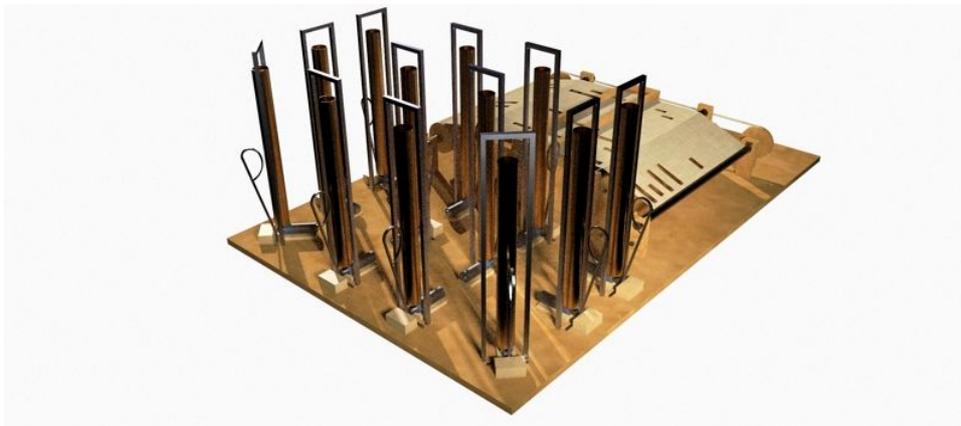
Après la fabrication d'un premier prototype, il est apparu que cette solution ne permettait pas de frapper assez fort sur les tubes de cuivre.



*Modélisation du premier système de marteau*

Un second prototype a été réalisé en remplaçant le système de marteau basculant par des marteaux fixés sur des bandes souples, mais celui-ci n'était pas plus satisfaisant. Le problème résidait dans le positionnement des tubes qui gênait leur résonance.

C'est ainsi qu'est apparu la nécessité de concevoir une seconde version d'Allegro Barbaro. L'idée du xylophone est alors abandonnée au profit d'une disposition verticale, à la manière d'un carillon. Les tubes de cuivres, suspendus par un fil de nylon, peuvent résonner sans problème. Le mécanisme de marteau est lui aussi adapté à cette nouvelle géométrie, et il est placé à la verticale. Le système de lecture de bande, qui n'a pas encore été réalisé est pour le moment laissé sans modification.



*Modélisation 3D de la deuxième version d'Allegro Barbaro*

Cette nouvelle disposition présente certains avantages, et le son produit par les tubes est maintenant pleinement satisfaisant. Mais les marteaux sont trop difficiles à réaliser, et ils manquent toujours de force pour frapper correctement le tube. Après l'essai sur un unique tube, cette disposition est abandonnée: il faut repenser complètement le système de percussion.



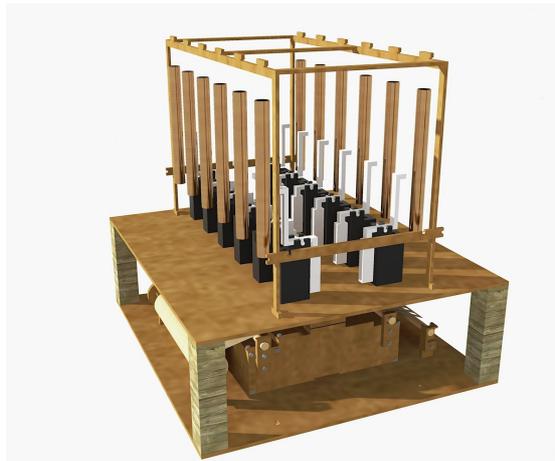
*Modélisation 3D du deuxième système de marteau*

Ce changement de percussion s'accompagne d'un réarrangement de la position des tubes. C'est ainsi que se développe la troisième version d'Allegro Barbaro. Le système de lecture, toujours inchangé puisqu'il n'a pas été essayé, se situe maintenant en dessous du système de tube. Les marteaux sont encore une fois repensés et ils seront maintenant réalisés par une imprimante 3D. Les électro-aimants préalablement fabriqués sont placés à l'intérieur d'un boîtier en plastique sur lequel le marteau est à l'équilibre.



*Modélisation 3D du troisième système de marteau (ouvert)*

Ces boîtiers sont placés en face de chaque tube, et ceux-ci sont suspendus sur deux grands supports de bois. Le xylophone mécanique est maintenant devenu une vraie boîte à musique.



*Modélisation 3D de la troisième version d'Allegro Barbaro*

Après la construction complète de cette version, et le test concluant des nouveaux marteaux, il a fallu concevoir un système de commande pour contrôler chaque marteau indépendamment.

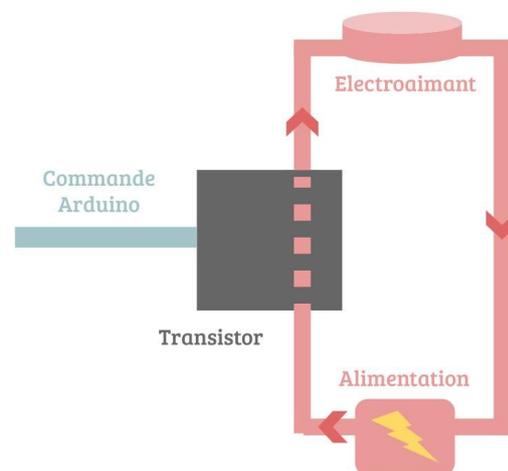
La solution retenue depuis le début du projet était d'utiliser une carte Arduino, de part son coût et sa facilité d'utilisation. Mais cette carte n'est pas capable de délivrer les intensités que demandent les différents électroaimants.



*Carte Arduino*

Cette partie de la conception fut pour moi l'occasion de découvrir l'électronique de puissance et l'intérêt des transistors dans un montage électrique. Il s'agissait donc de différencier deux parties dans le montage final: Le circuit de commande, qui génère les informations sur la mélodie à jouer et le circuit de puissance, qui reçoit ces informations et met en mouvement le système de marteau. Pour faire la jonction entre ces deux circuits, il a fallu concevoir une carte de puissance, celle-ci est composée de plusieurs transistors pour contrôler les différents marteaux.

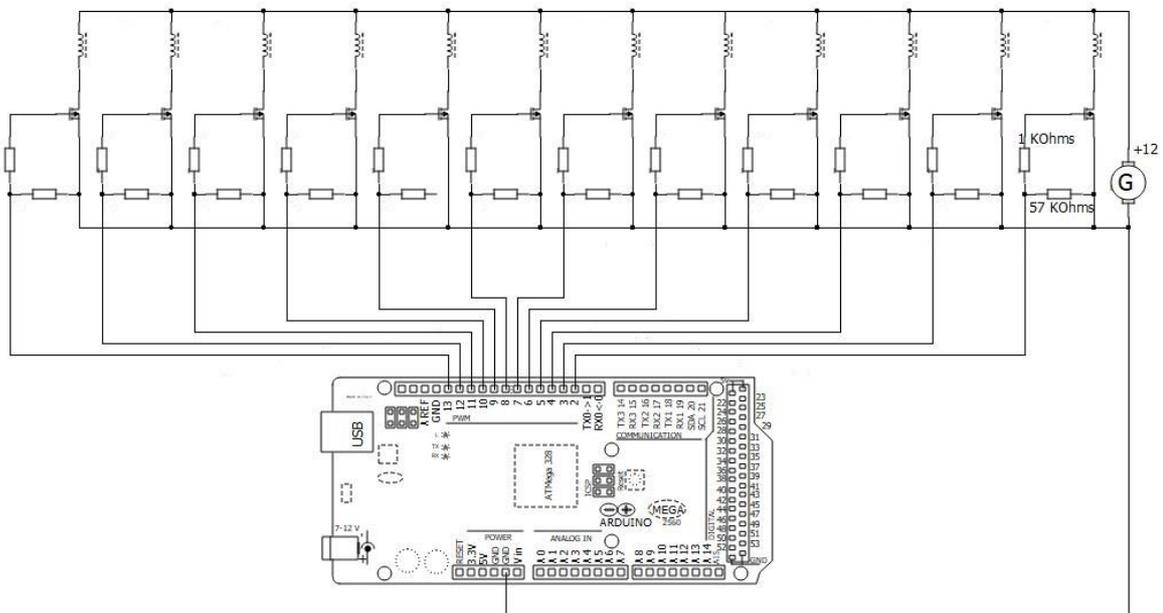
Chaque transistor agit comme un robinet d'énergie, actionné par une sortie de carte Arduino. Ce robinet est placé entre une alimentation et un électroaimant, et active celui-ci en fonction de la commande de l'Arduino. Ce système permet à l'Arduino de délivrer très peu de courant, puisqu'il ne fait que activer ou désactiver le transistor



*Schéma de principe du fonctionnement d'un transistor*

Les transistors utilisés sont des MOSFET. Ce modèle a pour particularité d'être en fonctionnement tout ou rien, il alimente l'électroaimant dès que la consigne Arduino dépasse un certain seuil de tension, et désactive l'électroaimant dès que la consigne repasse en dessous du seuil. Ce fonctionnement facilite la conception du circuit et évite des phénomènes de parasitage ou de bruit.

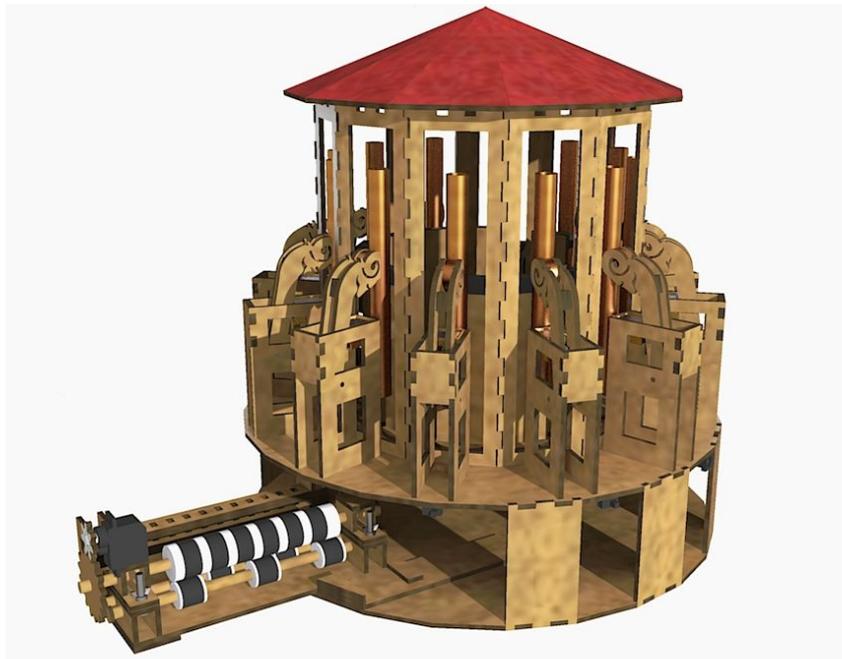
Après bien des déboires et des découvertes sur les fonctionnements des transistors, j'ai pu réaliser une carte de puissance composée de 12 transistors MOSFET, chacun commandé par un port Arduino et alimentant un marteau.



*Schéma électrique complet du système de jeu d'Allegro Barbaro, les marteaux sont représenté par des bobines.*

Mais le son produit était toujours trop faible, et ces nouveaux marteaux ne suffisait pas à produire une mélodie convenable. Les électro aimants fabriqués n'était tout simplement pas adaptés, et je me suis tourné vers des électroaimants plus performants, acheté pour l'occasion.

L'acquisition de ces électroaimants a mené à une ultime modification des systèmes de percussion, qui a abouti à une dernière version d'Allegro Barbaro. Pour la première fois, des considérations esthétiques ont été prise en compte: la boîte à musique s'est transformé en un petit carrousel et les marteaux ont pris la forme d'une tête de bélier. En utilisant les nouveaux électroaimants, en ajoutant un bout de cuivre au bout des marteaux et en plaçant des petits amortisseurs de l'autre côté du tube, j'ai pu obtenir le son que je cherchais, avec un timbre assez fort et clair.



*Modélisation 3D de la version finale d'Allegro Barbaro*

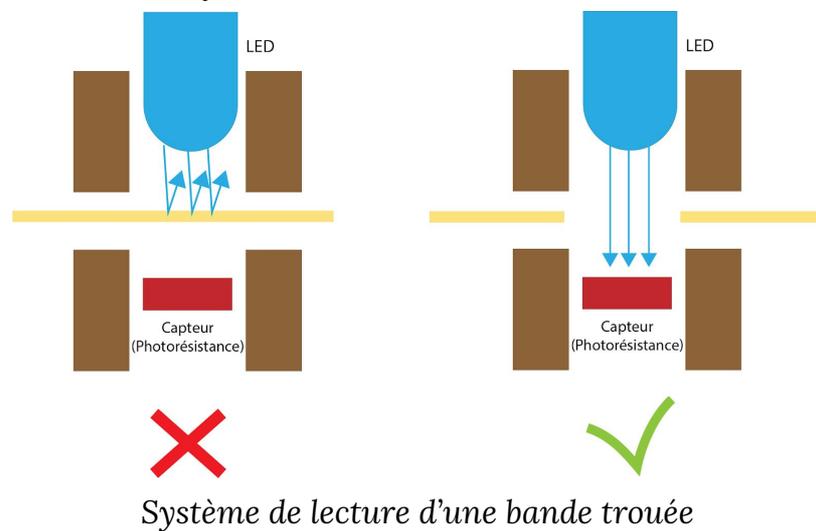
Pour finaliser la conception de l'objet, j'ai ajouté un sélecteur composé d'un potentiomètre, afin de choisir de jouer une mélodie parmi quatre musiques différentes stockée dans la mémoire de l'Arduino.



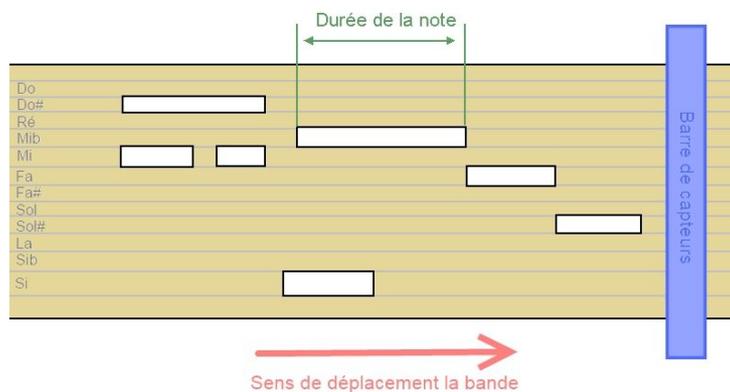
*Modélisation 3D du système de marteau final avec l'amortisseur (ouvert)*

Cette nouvelle version étant satisfaisante, il était temps de s'atteler à la deuxième partie de la conception : le système de lecture de bande. En effet, l'Allegro Barbaro doit être capable de lire des bandes de papiers trouées, à la manière d'un orgue de barbarie.

L'idée qui a été retenue pour réaliser le lecteur est de combiner une LED et un capteur de lumière. Lorsque la bande de papier passe entre ce couple, le capteur est obstrué et le système détecte la présence du papier. Lorsqu'un trou se présente, le capteur est de nouveau éclairé et le système le détecte.

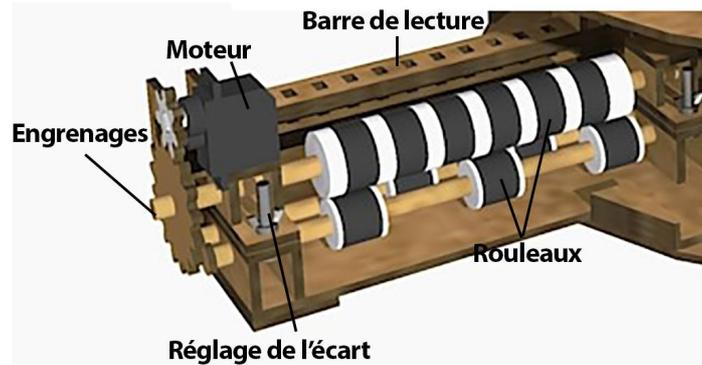


Pour enregistrer une mélodie sur la bande, on découpe celle-ci en 12 lignes où chacune correspond à une note. En plaçant un trou sur une ligne, on indique à l'instrument qu'il faut jouer une fois cette note. Ainsi, en utilisant 12 couples LED - capteurs assemblés en une barre de lecture, il suffit d'assigner une ligne à une note de l'instrument pour jouer les mélodies enregistrés sur les bandes.



*Schéma explicatif de la lecture d'une bande trouée*

Pour entraîner la bande papier à travers la barre de lecture, j'ai confectionné des rouleaux en papier, que j'ai entouré de scotch noir pour augmenter leur adhérence. Ces rouleaux sont mis en mouvement par un système d'engrenage, lui même actionné par un moteur à courant continu. Après quelques ajustements, la partie matériel du système de lecture a pu être finalisée.

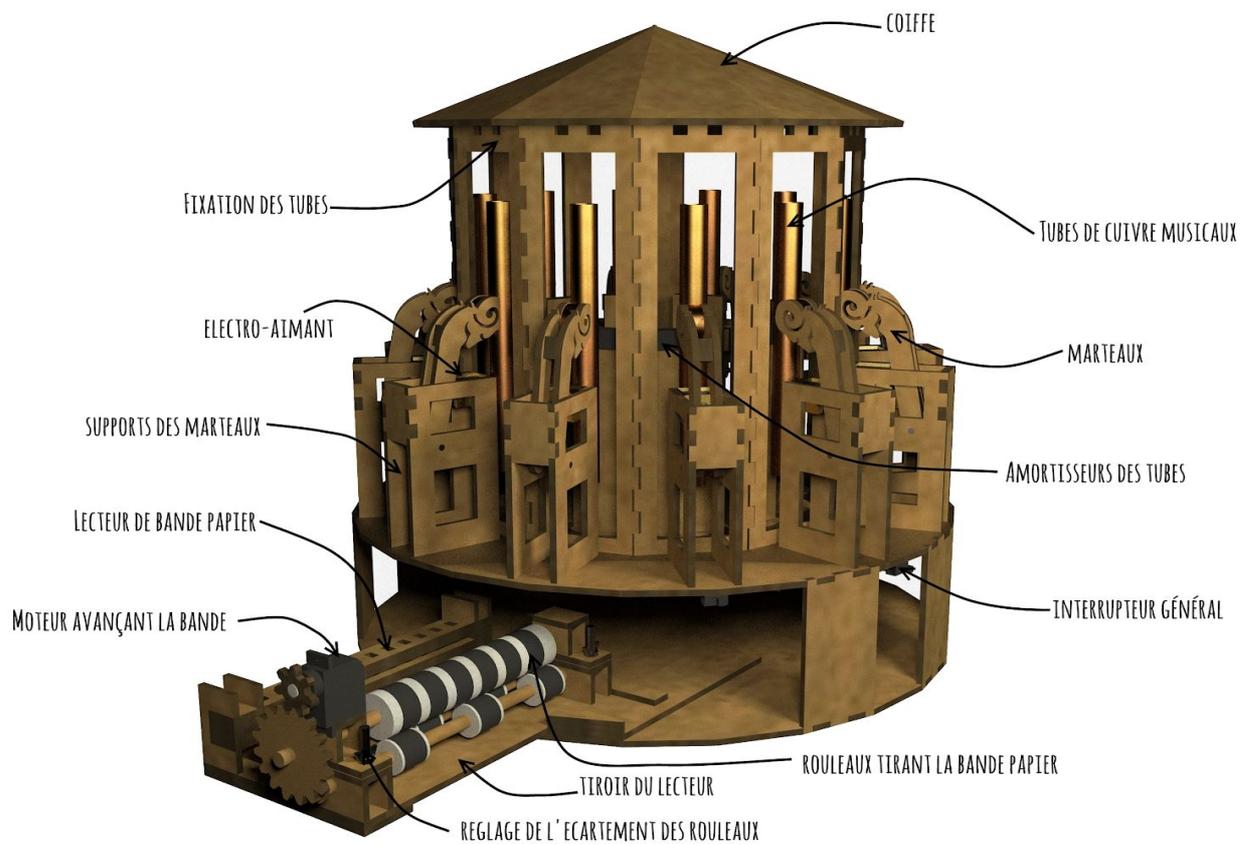


*Modélisation 3D du système de lecture de bande trouée*

J'ai ensuite intégré ce système au reste de l'instrument en utilisant un tiroir. Cela permet à l'instrument de prendre moins de place lorsqu'il joue en mode musique pré-sauvegardé. Il est aussi apparu que le système de détection des trous était capable, par transparence, de faire la différence entre un papier noir ou blanc. J'ai donc remplacé les trous par des carrés noirs sur les bande de papier, ce qui facilite la fabrication de celle-ci. Cette étape marque la fin de la construction de l'instrument Allegro Barbaro, il ne restait alors qu'à réaliser les différents programme qui lui permettront de fonctionner convenablement.

Au cours de cette construction, qui s'est étalée sur plus d'un an, j'ai pu utiliser différents outils mis à disposition par La Fabrique, tel que la découpeuse laser, les imprimantes 3D ou les postes de soudure. Ce paragraphe est donc pour moi l'occasion de remercier les nombreuses personnes qui occupait les lieux à ce moment-là, car j'ai pu apprendre de nombreuses choses à leur contact. Je remercie aussi La Fabrique et son directeur Antoine Tabet, pour la mise à disposition d'une large gamme de matériel, sans quoi rien n'aurait été réalisable.

# Description de l'instrument



*Modélisation 3D annotée de  
l'instrument Allegro Barbaro*

Schéma électrique complet

Programmation