



Par Adrien Waeles-Devaux et Redha Abderrahmane

Sommaire :

- 1) Présentation du projet
- 2) Objectif
- 3) Planning et déroulement
- 4) Présentation des différents éléments de notre flipper.
- 5) Maquette du projet
- 6) Schéma électrique
- 7) Algorithme
- 8) Difficultés rencontrées
- 9) Coût du projet
- 10) Perspectives futures
- 11) Conclusion
- 12) Bibliographie

1) Présentation du projet

Dans le cadre des cours d'Arduino de 2ème année de classe préparatoire intégrée à Polytech Nice-Sophia, nous avons choisi pour projet la conception d'un flipper à partir de composants simples. Le principal atout de ce projet étant sa pluridisciplinarité nous permettant de nous auto-former dans des domaines nous passionnant tels que la mécanique, l'électronique et la programmation.

2) Objectif :

Depuis l'apparition des jeux vidéos, les flippers deviennent de plus en plus rares et semblent en voie de disparition. Cela peut s'expliquer par un coût de fabrication et de maintenance bien plus élevé qu'un jeu numérique.



Flipper "Bram Stoker's Dracula" et sa complexité technique (Source : pinballmag.fr)

L'objectif de ce projet était donc de montrer qu'il est possible de créer son propre flipper avec des composants simples en utilisant Arduino face à des machines vendues neuves autour de 10 000 euros.

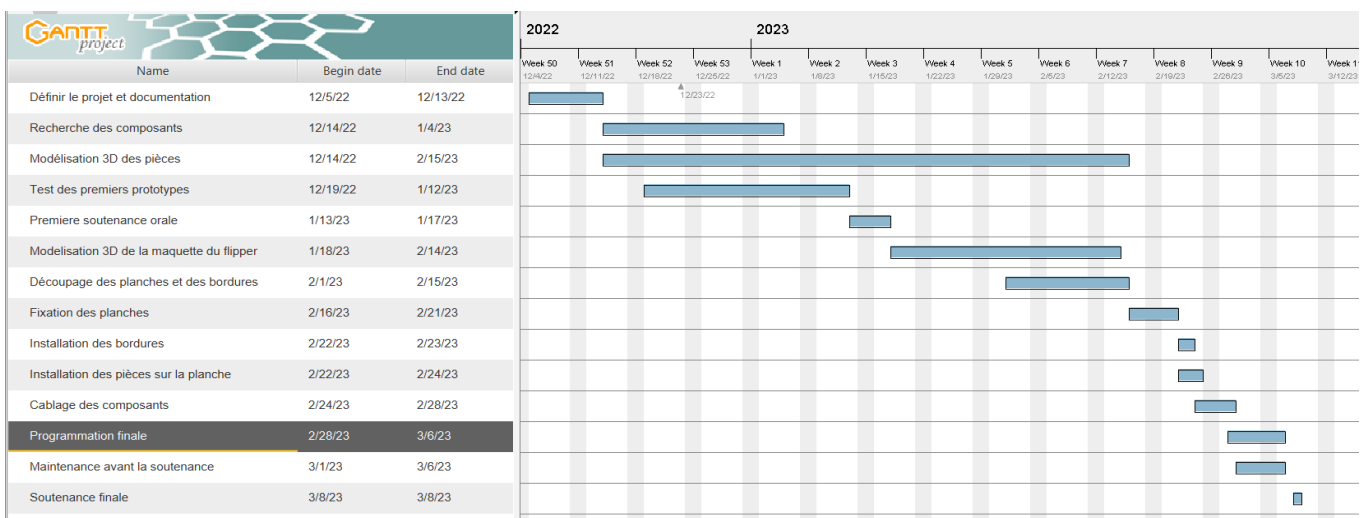
3) Planning et déroulement:

Ce projet a exigé un grand travail d'organisation et beaucoup d'implication en dehors des cours puisque les 8 séances de 3h dont nous bénéficions étaient loin d'être suffisantes pour accomplir notre vision du projet. Pour compenser ce manque de temps, nous avons travaillé tous les après-midis après les cours et pendant les vacances pour accomplir le niveau d'avancement démontré lors de la présentation. Environ 600 h (en cumulant le travail de chaque membre du binôme) ont été passées sur le projet jusqu'au jour de la soutenance finale.

En estimant le coût de travail sur la base d'un salaire ingénieur de 38 000 euros pour 1600h de travail, cela équivaut à un total de 14 250 euros.

Redha $\approx 250h \rightarrow 5938 \text{ €}$

Adrien $\approx 350h \rightarrow 8312 \text{ €}$



Le diagramme de Gantt ci-dessus montre l'avancement du projet sur nos 13 semaines de travail. Ainsi on constate que la modélisation 3D a pris un temps considérable puisque nous avons imaginé toutes les pièces de notre flipper. La fabrication et l'assemblage ont également pris une grande partie de notre temps puisque c'était la première fois que nous travaillions sur un projet de cette envergure. Nous avons donc un manque d'expérience dans la fabrication et l'assemblage de pièces techniques.

La prise en main de nouveaux logiciels et de nouveaux outils, a nécessité un temps non négligeable avant d'acquérir un bon niveau de maîtrise pratique et théorique pour avoir le meilleur résultat possible. Ce temps d'apprentissage explique les fluctuations entre notre planning initial disponible sur notre github et ce diagramme. Cela découle également de la durée de livraison des composants qui a nécessité une réorganisation afin de ne pas perdre de temps.

4) Présentation des différents éléments de notre flipper:

La documentation en ligne sur le fonctionnement des flippers est assez riche et très instructive, cependant, la mécanique d'un flipper est si complexe qu'il n'était pas envisageable d'utiliser les mêmes composants et mécanismes pour réaliser un projet abordable et le rendre dans les temps impartis.

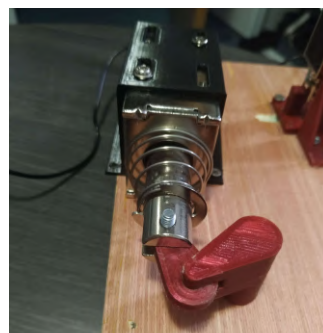
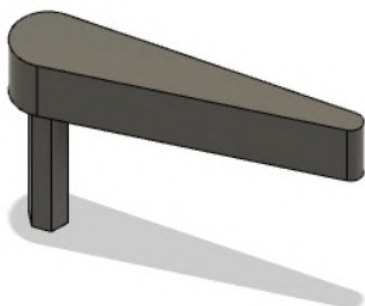
Nous avons donc dû concevoir tous nos éléments par nous-mêmes.

Pour cela nous avons choisi de réaliser des prototypes sur des petites planches de bois en premier lieu afin de pouvoir effectuer de nombreux tests avant la version finale. Au total plus de 25 pièces ont été modélisées en 3D ayant chacune nécessité de nombreuses modifications et essais.

Voici les différents éléments que nous avons créé :

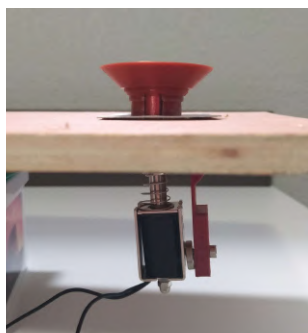
Les flippers :

Pièces portant le nom du jeu contrôlées par le joueur et permettant de frapper la bille pour l'envoyer dans les différentes zones de jeu.



Ceux-ci sont activés par 2 puissants électro-aimants à l'aide d'un mécanisme modélisé et imprimé en 3d permettant de transformer le mouvement linéaire de ceux-ci en un mouvement de rotation.

Les bumpers :

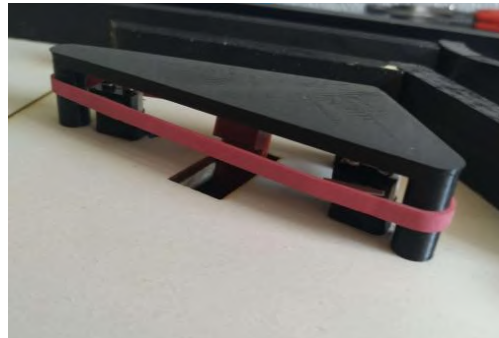
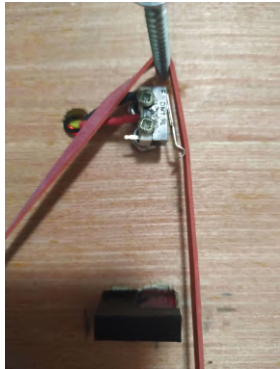


Pièces iconiques en forme de champignons qui vont s'abaisser sur la bille lorsqu'ils sont touchés pour la renvoyer dans la direction opposée. Ils sont souvent disposés en triangle avec un faible écartement afin que la bille puisse faire des allers-retours entre ceux-ci pour cumuler un maximum de points.

Les bumpers sont déclenchés lorsque la bille est en contact à la fois avec un fil de cuivre qui est inséré dans celui-ci et une plaque métallique incrustée dans la planche comme détaillé dans la partie câblage.

Les slingshots :

Pièces munies d'un élastique permettant de renvoyer la bille dans la direction opposée afin de la repositionner dans une zone jouable. Ceux-ci sont déclenchés grâce à 2 micro-interrupteurs placés aux extrémités de chaque élastique qui permettent de détecter l'impact de la bille sur celui-ci.



Les cibles :

Celles-ci fonctionnent également avec des micro-interrupteurs. Lorsque la bille va venir frapper une cible, elle va enclencher son interrupteur. Le signal reçu par l'arduino va permettre de comptabiliser les points.

La roue de la fortune :



Élément unique à notre flipper. Lorsqu'elle est déclenchée (après que le joueur ait visé toutes les cibles par exemple), celle-ci va permettre de remporter un bonus choisi aléatoirement. Elle fonctionne avec une animation lumineuse de néo-pixels qui s'allument successivement selon un motif circulaire, l'animation termine avec le clignotement d'un néo pixel indiquant le bonus remporté sur la roue.

La poignée de lancement :



La poignée est entièrement imprimée en 3D. Afin de pouvoir insérer l'insérer dans un support dans lequel elle va coulisser et d'y insérer un ressort, celle-ci a été modélisée en 3 parties. Cela permet également de limiter l'ajout de supports lors de l'impression 3D. Les 3 parties s'assemblent grâce à un filetage réalisé sur Fusion 360. La photo ci contre montre l'assemblage des 3 pièces imprimées en 3d sur lesquelles on a inséré un ressort permettant de propulser la bille.

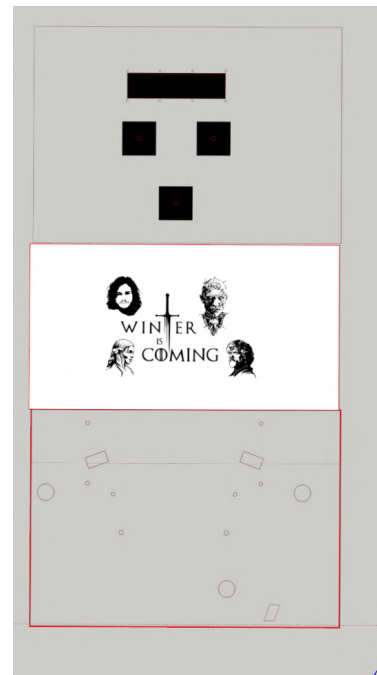
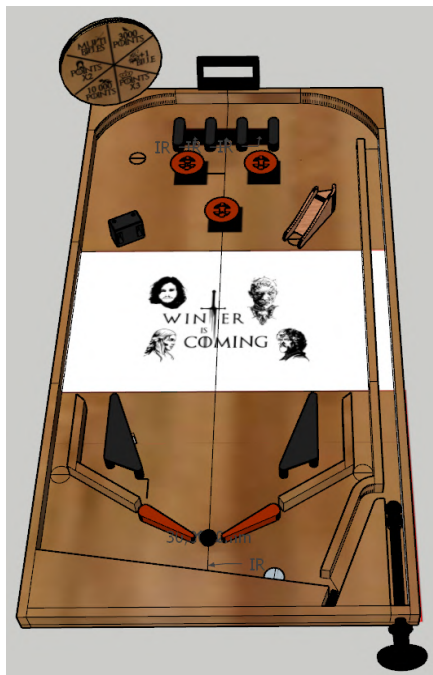
Zone de lancement :

Lorsqu'une bille n'est pas réceptionnée par le joueur, il faut pouvoir être capable de la ramener dans la zone de lancement afin que le joueur puisse avoir un nouvel essai. Pour cela nous avons conçu une petite pièce plastique fixée sur un solénoïde qui, lorsque celui-ci est enclenché, va pousser la bille pour l'envoyer juste au-dessus de la poignée.

La rampe :

L'entrée de notre rampe est entièrement modélisée et imprimée en 3d, pour la suite de la rampe nous avons soudé plusieurs fils de cuivres rigides entre eux en veillant à garder un écartement constant tout au long de la rampe pour que la bille ne tombe pas.

5) Maquette du projet :



Avant l'assemblage, nous avons décidé de réaliser une maquette complète du projet en important et disposant tous les éléments modélisés lors de la phase de conception afin d'éviter de nombreuses erreurs de placement.

Celle-ci a été très utile puisqu'elle a permis de découper nos planches en ajoutant les trous de fixation et de placement de nos différents composants afin de gagner un temps considérable. Elle a également servi de support pour la conception des bordures du flipper faites sur le même logiciel puis transformées en fichiers 2d vectoriels afin de pouvoir les découper au laser.

6) Schéma électrique:

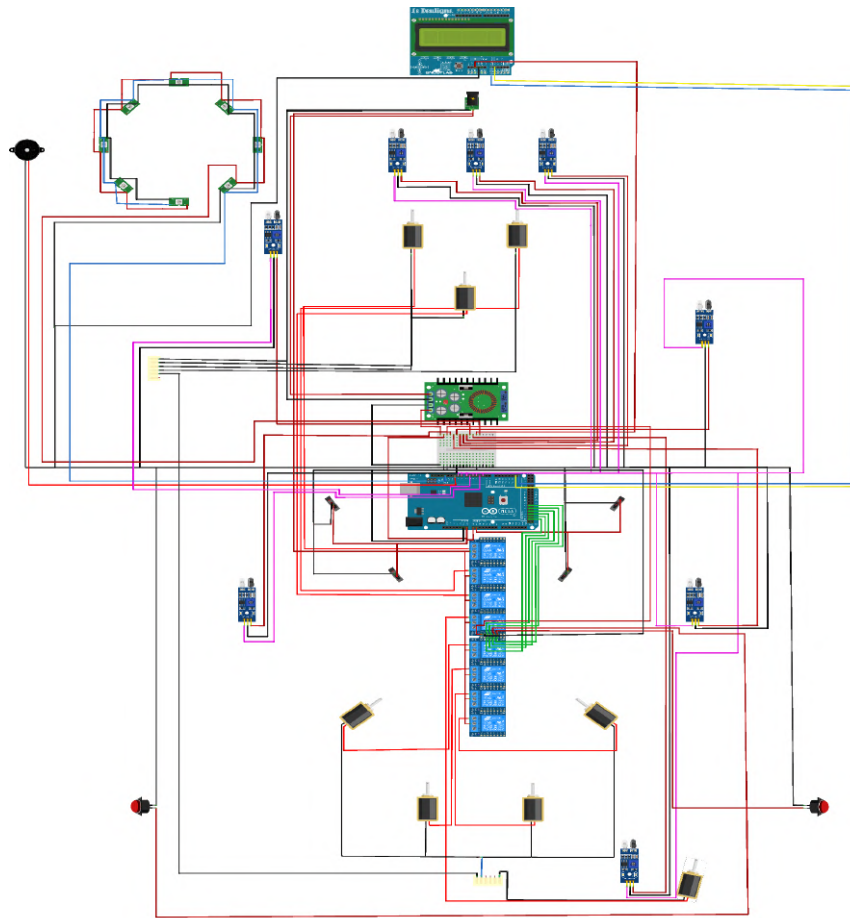
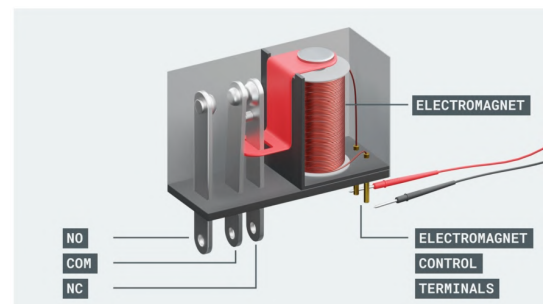


Schéma du câblage du projet sur le logiciel fritzing

Tout d'abord voici quelques notions à connaître afin de mieux comprendre les détails du câblage:

- Les solénoïdes sont des électroaimants qui permettent de transformer de l'électricité en mouvement mécanique en générant un champ magnétique. À l'intérieur, un fil est enroulé sous forme de bobine. Quand le courant passe dans un fil, il génère un champ magnétique. Celui-ci va alors déplacer le piston métallique vers l'intérieur. Lorsque le courant est coupé, le ressort du solénoïde permet au piston de revenir dans sa position initiale.
- Les relais sont des composants qui permettent de contrôler des charges électriques externes à partir de signaux numériques. Lorsque le signal est appliqué, le relais commute un contact à l'aide d'un électroaimant afin d'ouvrir ou fermer un circuit électrique.
Dans notre cas les relais sont utilisés pour isoler le circuit de commande de la charge électrique (qui est géré par l'arduino fonctionnant à des tensions proches de 5V) de l'alimentation des solénoïdes qui fonctionne en 24V. Ceux-ci sont munis d'une diode qui permet d'éviter que les charges emmagasiné soient renvoyées dans l'autre sens vers l'arduino quand le courant est coupé.



Dans notre projet, nous avons besoin de solénoïdes capables d'envoyer la bille avec une grande vitesse et réactivité vers toutes les zones jouables de notre flipper. Pour cela nous avons choisi d'utiliser des solénoïdes capables d'une force de 65N fonctionnant en 24V.

Cette restriction nous a forcé à alimenter notre projet à l'aide d'une boîte d'alimentation capable de fournir une tension de 24V et 2A de courant.

Les solénoïdes sont connectés en parallèle pour pouvoir les activer individuellement ou simultanément et leurs masses sont toutes reliées à une masse commune.

Les deux solénoïdes des flippers sont contrôlés directement par le joueur grâce aux boutons poussoirs fixés sur les bordures de la planche. Pour cela, ces interrupteurs sont reliés directement aux relais afin d'activer les solénoïdes directement lorsque le circuit est fermé.

Pour alimenter le cerveau qui contrôle notre projet c'est-à-dire la carte Arduino Mega, nous avons utilisé un convertisseur de tension progressif permettant de recevoir 24V en entrée afin d'avoir en sortie 5V.

De même cela nous a permis d'alimenter les composants suivants qui fonctionnent avec de faibles tensions :

- Micro-interrupteurs
- Ecran LCD
- Buzzer
- Capteurs Infra-rouges
- Néo-pixels

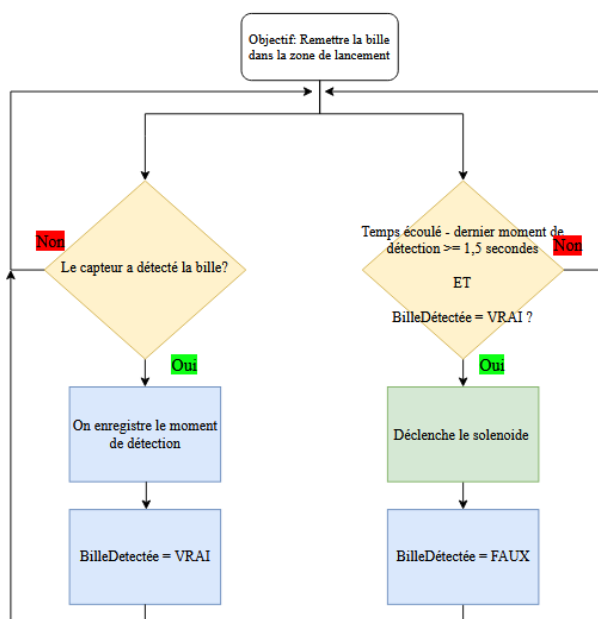
Le schéma étant très chargé nous n'avons pas représenté le branchement des plaques métalliques et anneaux des bumpers.

Le fonctionnement est simple, les anneaux métalliques sont connectés au 5V alors que les plaques métalliques sont reliées à la masse commune. Ainsi, la bille étant métallique, lorsqu'elle est en contact à la fois avec l'anneau et la plaque alors le circuit devient fermé et le bumper s'active.

7) Algorithme:

Bien que relativement simple, l'algorithme est assez long à détailler. Nos explications portent donc uniquement sur les points les plus importants et le code commenté sera disponible sur le github.

Détaillons le fonctionnement de la zone de lancement :

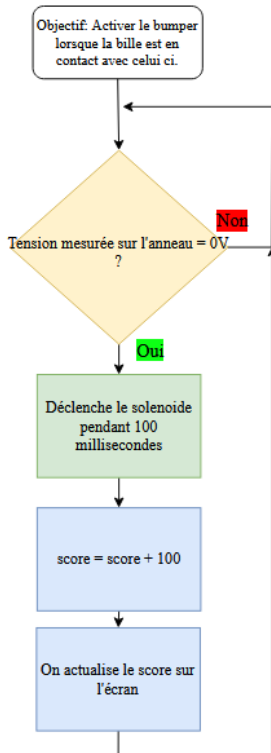


L'objectif est de ramener la bille au-dessus de la poignée de lancement lorsqu'elle est perdue par le joueur.

Pour cela un capteur infrarouge détecte le moment de sortie de jeu de la bille. On va alors attendre un instant pour que la bille se place devant le solénoïde. Il suffira ensuite de l'activer pour pousser la bille selon un chemin délimité par nos bordures jusqu'à sa position de lancement.

Notre difficulté était d'éviter toute interruption entre 2 commandes afin de ne pas suspendre tout le programme.

Voici le fonctionnement : si la bille passe sur le capteur IR, alors on enregistre l'instant de détection en secondes et une variable d'état bille détectée prend la valeur "vrai". Le programme teste en continu si le temps écoulé depuis cette détection solénoïde est supérieur à 1,5 secondes et si bille détectée est égale à vrai. Si c'est le cas, on déclenche le solénoïde. Enfin la variable bille détectée reprend la valeur "faux" afin que le l'algorithme puisse à nouveau être exécuté.



Le fonctionnement des bumpers est bien plus simple :

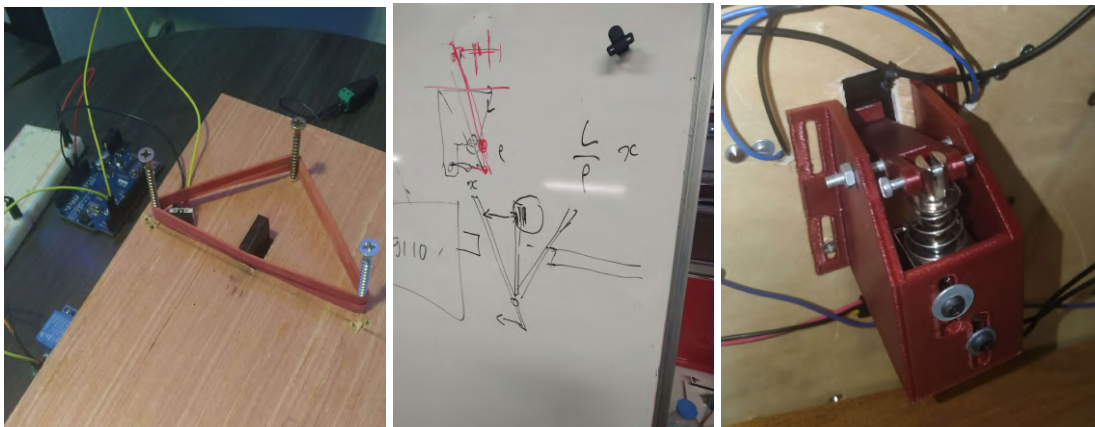
La broche de l'arduino reliée à l'anneau du bumper est définie en INPUT_PULLUP afin de pouvoir utiliser la résistance de rappel intégrée à l'Arduino.

On cherche alors à savoir si le circuit anneau/plaque métallique est fermé. Pour cela il suffit de tester en continu si l'anneau a une tension nulle (donc si il est relié à la masse). Si c'est le cas, on active le solénoïde et on incrémente le score.

Pour activer le solénoïde pendant 100 millisecondes on peut simplement utiliser un délai car celui-ci est tellement court que la bille n'aura pas le temps de déclencher un autre élément pendant ce temps. En effet, les flippers ne sont pas contrôlés par l'Arduino comme expliqué dans la partie câblage, donc cela ne perturbe pas le jeu.

8) Difficultés rencontrées:

Ayant dû affronter toutes les étapes de réalisation d'un projet, de la conception jusqu'à l'assemblage nous avons rencontré plusieurs difficultés :



-Tout d'abord notre premier prototype de slingshot ne permettait pas de renvoyer la bille assez fort avec le matériel que nous avons. Celui-ci était réalisé à partir de 3 vis tendant un élastique et un petit bras imprimé en 3D poussant celui-ci. (voir première photo ci dessus)

Pour pallier cela, nous avons donc conçu un nouveau système qui repose sur l'utilisation d'un levier. En effet, ce système permet de gagner en amplitude de mouvement et en force.

Pour cela, nous avons modélisé une première pièce en 3D sur laquelle nous avons testé différents points de pivots et longueur. Puis nous avons testé ce prototype sur une planche et modifié la pièce en tenant compte de ces résultats afin de réaliser la version finale et de l'imprimer (voir photo ci-dessus à droite).

- La bille n'était pas réceptionnée dans la zone de lancement car le solénoïde l'envoyait avec une trop grande vitesse. La solution était de régler le temps d'activation du solénoïde via le programme de l'Arduino, ce qui va envoyer la bille avec plus ou moins de force.
- Les bumpers n'étaient pas assez sensibles. En effet la bille ne faisait pas toujours contact entre l'anneau et la plaque métallique. Nous avons donc ajusté leurs hauteurs afin que la bille puisse toucher le fond du bumper.
- Finalement l'inconvénient d'avoir utilisé des capteurs infrarouges dans notre projet, est qu'ils dépendent de l'éclairage de la pièce. Dans une démarche d'amélioration du projet nous aimerions les remplacer par un autre modèle de capteur plus fiable.

9) Coût du projet

Estimation du coût du projet en matériel (en se basant sur les tarifs d'Amazon) :

Composants électroniques :

- | | |
|-------------------------------------|--|
| - Carte arduino mega = 25€ | - Ecran lcd 16x2 caractères + module I2C = 10€ |
| - 2 solénoïdes 24V 65 Newtons = 60€ | - 6 néo pixels = 5€ |
| - 6 solénoïdes 24V 8 Newtons = 60€ | - 2 boutons poussoirs = 6€ |
| - Convertisseur progressif = 8€ | - 6 microinterrupteurs = 6€ |
| - 8 relais = 14€ | - Alimentation 24V 2A = 15€ |
| - 8 capteurs infrarouges = 10€ | |

Pièces diverses :

- 3 billes de 16 mm = 5€
- Larges élastiques caoutchouc : 2€
- Visserie ≈ 15€

Planches et filament 3D:

- Pièces imprimées en 3D (en PLA): 300g≈ 15€
- 4 planches de bois d'épaisseur 3 mm=9€

Coût total : environ 265€

10) Perspectives futures

Ce projet a dû être entièrement réalisé en 13 semaines afin de le rendre dans les délais impartis, cela nous a obligé à nous concentrer sur l'essentiel afin d'être sûr de pouvoir présenter une première version finalisée à temps. Cependant les perspectives d'évolution sont nombreuses. Ainsi nous aimerions rajouter des ruban néopixels pour créer une décoration lumineuse interactive qui change de couleur ou clignote en fonction des éléments de jeux touchés ou encore ajouter de nouveaux éléments visables par le joueur.

Nous avons commencé à concevoir un mode multibille grâce à une pièce imprimée en 3D et un moteur pas à pas relâchant plusieurs billes au même moment.

Finalement, nous souhaitons continuer la décoration et thématisation du flipper grâce à l'impression 3D, la gravure laser et la conception d'autocollants.

11) Conclusion :

Ce projet nous a passionné, la complexité de sa mécanique de fonctionnement ainsi que la richesse des composants électroniques a été très formatrice. Nous avons développé de nouvelles méthodes de travail en termes de recherche et développement et gagné en efficacité et autonomie.

Finalement cela a permis de renforcer nos choix d'orientation puisque Redha Abderrahmane souhaite s'orienter en spécialité Électronique et Adrien Waeles-Devaux en Robotique

Afin de contribuer à rendre la fabrication d'un flipper plus accessible, toute la documentation, les modélisations et autres fichiers de fabrication sont disponibles en open source sur ce github.

12) Bibliographie :

Documentation :

Flipper, Wikipedia

wikipedia.org/wiki/Flipper

Pinball Makers (Ressources pour construire son propre flipper)

pinballmakers.com

Vidéos :

"How a Pinball Machine works in Slow Motion - The Slow Mo Guys" : youtu.be/Tmg5WOvPKpU

"Wooden Pinball + Arduino DIY": youtu.be/y2FeiB1704w

"Fabriquer un FLIPPER, un ENFER", youtu.be/RLwirZu9_jc

Inspiration pour le fonctionnement des bumpers: youtu.be/yfZipK-Ngeo

"DIY 3D printed pinball machine": youtu.be/SnD3WfmEfXY

Fichiers 3D utilisés:

Bumper complètement modifié pour le faire correspondre à notre projet:

www.thingiverse.com/thing:3286052

Cales pour aligner les flippers avec la bonne inclinaison:

www.thingiverse.com/thing:1644154