



flow
L'esprit de ton âme.

Rapport Technique - Flow

Maëlle VAN KETS, Valentine LIEU, Anne COUAPEL
Jimmy-Antoine PAN

Janvier 2022

Table des matières

1	Introduction	3
2	Etude du besoin	6
2.1	Analyse conceptuelle du besoin	6
2.1.1	Recueil des informations et des idées	6
2.1.2	Cahier des charges	6
2.2	Analyse fonctionnelle du projet	7
2.2.1	Diagramme bête à corne	7
2.2.2	Diagramme Pieuvre	8
2.2.3	Diagramme FAST	9
2.3	Analyse de la concurrence	9
2.4	Analyse des ressources	11
3	Business plan	12
3.1	Stratégie de vente	12
3.1.1	Distribution	12
3.1.2	Prix	13
3.2	Communication	13
3.2.1	Image de marque	13
3.2.2	Communication traditionnelle	14
3.2.3	Communication virtuelle	15
4	Etude théorique	16
4.1	Théorie de la musique	16
4.1.1	Musique et émotion	16
4.1.2	Théorie du microphone	20
4.2	Théorie du ferrofluide	23
4.2.1	Qu'est-ce que le ferrofluide ?	23
4.2.2	Propriétés magnétiques	23
4.2.3	Générateurs de champs magnétiques	25
5	Partie expérimentale	26
5.1	Expériences sur le Ferrofluide	26
5.1.1	Première expérience : création de ferrofluide	26

5.1.2	Deuxième expérience : Ferrofluide de SuperMagnete	26
5.1.3	Troisième expérience : Ferrofluide EFH1	27
5.1.4	Dernière expérience : Comparaison des différents ferrofluides	29
5.2	Traitement de signal	31
5.2.1	Récupération du signal entrant	31
5.2.2	Création des signaux PWM	32
5.3	Hardware	40
5.3.1	Recherche d'un circuit électronique pour alimenter les électro- aimants et les piloter avec les signaux PWM.	40
5.3.2	Schematic du PCB sur le logiciel Eagle	42
5.3.3	Board et routage sur le logiciel Eagle	43
6	Prototype	44
6.1	Construction du récipient	44
6.1.1	Découpe du verre	44
6.1.2	Assemblage	46
6.1.3	Test d'étanchéité	47
6.1.4	Ajout du ferrofluide	47
6.2	Modélisation du support	48
6.3	Démonstration finale	49
7	Amélioration futur du projet	51
7.1	Conception du récipient	51
7.2	Traitements du signal	51
7.3	Hardware	52
8	Retour sur expérience	54
8.1	Point de vue de Maëlle	54
8.2	Point de vue de Valentine	55
8.3	Point de vue de Jimmy	55
8.4	Point de vue de Anne	56
8.5	Conclusion et remerciements	56

Chapitre 1

Introduction

Il n'y a rien de mieux que l'ambiance d'un concert pour se retrouver immergé dans l'univers d'un artiste. Submergés par l'expérience auditive unique que représente sa musique, nous voyageons à travers l'âme de sa performance et de son histoire. Imaginez vous maintenant pouvoir voir ce monde de vos propres yeux. Flow peut vous l'offrir.

Flow est un instrument de musique visuel à destination des salles de concerts ou d'évènements particuliers. Il permettra d'offrir au public une expérience sensorielle unique en alliant l'ouïe et la vue lors d'une performance.

Inspiration

Notre projet est inspiré de l'artiste DAKD Jung qui réalise des vidéos YouTube[6] dans lesquelles il expose des images d'enceintes à ferrofluide. Nous remarquons sur ces vidéos que le fluide se déplace au rythme de la musique. En nous informant davantage sur cet artiste, nous sommes tombés sur son site internet[5] où il réalise toutes sortes d'œuvres d'art à l'aide de ferrofluide.

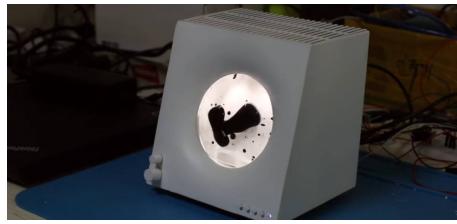


FIGURE 1.1 – Oeuvres d'art de DAKD Jung : Enceinte à ferrofluide



FIGURE 1.2 – Oeuvres d'art de DAKD Jung : un écran à ferrofluide qui reproduit la forme de la personne située en face

La première fois que nous avons vu ces œuvres, nous sommes restés subjugués par tant de beauté. La façon dont remuait le ferrofluide et sa manière de se déplacer nous racontaient une histoire. De la même manière que les tâches d'encre chez le psychologue peut en apprendre sur nous[4], le ferrofluide peut dessiner son propre monde et nous le partager à travers ces "tâches d'encre" en mouvement. Le fluide avait l'air de vivre par lui-même. C'est surtout cette caractéristique qui nous a intéressé pour transmettre les émotions d'une manière visuelle. En effet, nous sommes habitués à déchiffrer des expressions sur le visage de personne que l'on croise au cours d'une journée. Ces expressions sont vivantes et ce sont elles qui nous font ressentir des émotions. A l'aide du ferrofluide, nous pouvions ajouter ce côté "vivant" pour transmettre les émotions de l'artiste. Flow s'appuie donc sur les propriétés du ferrofluide pour aider l'artiste à dessiner son message et transmettre des émotions de manière visuelle lors d'une performance.

Mise en place

Il sera installé comme un écran géant derrière la scène. A l'aide d'un microphone et d'un technicien en collaboration avec l'artiste, il sera réglé pour que le fluide vibre sur les basses de la musique et se dessine en fonction de l'émotion choisie par le créateur.

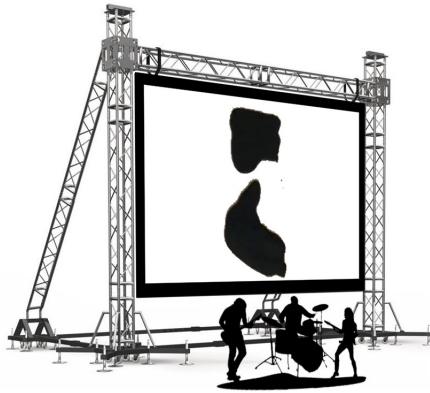


FIGURE 1.3 – Flow : instrument de musique visuel

Pourquoi Flow ?

Flow veut redonner aux artistes le contrôle de leur musique. En effet, de nombreux créateurs se plaignent qu'ils n'ont plus le contrôle sur leurs œuvres, notamment sur les plateformes de streaming. Adèle Adkins [8], chanteuse de pop, s'est plainte sur Twitter de la lecture aléatoire des albums car, pour elle, leur art "consiste à raconter une histoire et [leurs] histoires doivent être écouteées

telles qu'[ils] les [ont] écrites". Au travers de sa réclamation (non isolée), nous comprenons que ses paroles et sa musique peuvent être interprétés de manière totalement éloigné du sens que la chanteuse a voulu leur donner. Nous comprenons par cet exemple, que les artistes souhaitent reprendre le contrôle sur l'interprétation de leurs oeuvres. Nous proposons donc l'alternative Flow. Flow permettra aux artistes de renforcer le message qu'ils veulent faire passer et de dessiner leurs histoires.

Toutes les vidéos ou fichiers que nous avons créés ou utilisés sont retrouvables sur notre GitHub.

Chapitre 2

Etude du besoin

2.1 Analyse conceptuelle du besoin

2.1.1 Recueil des informations et des idées

Notre idée première est d'offrir la possibilité d'aller vers de nouveaux horizons dans le domaine musical. En effet, cela fait depuis de nombreux siècles que différents genres musicales ont pu faire leur naissance avec l'évolution de l'Homme. Mais la façon d'écouter la musique n'a jamais évoluée, il s'agit toujours d'écouter la musique avec un seul et unique sens : l'ouïe. Notre idée est donc d'innover ce processus pour écouter l'interprétation des artistes. Nous souhaitons l'activation d'un nouveau sens : la vue.

Les 5 sens humains sont précieux mais très souvent nous nous reposons sur nos acquis et ne faisons plus l'effort de les développer davantage. Notre but est alors d'immerger les utilisateurs dans un univers qu'ils ne connaissent pas où la musique s'installe grâce à une communication auditive et visuelle. Nous cherchons à sensibiliser les artistes à une envie mais surtout un besoin d'aller plus loin avec leurs 5 sens.

2.1.2 Cahier des charges

Notre cahier des charges se compose de 6 sections :

- Contexte et définition du problème : Ère technologique et scientifique qui développe des outils connectés toujours plus performants et plus proches de l'humain pour les intégrer à son mode de vie quotidien. Cependant cet engouement technologique peut devenir néfaste à l'art musical car les artistes perdent le contrôle de leurs œuvres.
- Objectif du projet : Redonner le contrôle aux artistes et innover l'interprétation musicale sous une nouvelle dimension
- Périmètre du projet : Flow repose sur l'association de compétences en traitement du signal et de connaissances des propriétés physiques et chimiques du ferrofluide. La force de Flow est de réunir la sensibilité et l'in-

terprétation des artistes et de chercheurs dans le domaines des émotions humaines afin d'hisser Flow dans la catégorie des instruments musicaux et artistiques.

- Description fonctionnelle du besoin : Flow doit être un outil complémentaire pour l'artiste afin de mettre en valeur la sensibilité de celui et en aucun cas modifier son message.
- Enveloppe budgétaire :
- Délais (date de réalisation attendue) : Flow doit être opérationnel pour l'ouverture de JO 2024 à Paris.

2.2 Analyse fonctionnelle du projet

Une fois le besoin précisément défini, il faut à présent procéder à l'analyse fonctionnelle du système. Une analyse fonctionnelle est nécessaire afin de caractériser :

- les fonctions de notre produit qui satisferont les attentes des utilisateurs.
 - les contraintes, exigences et risques auxquels le produit devra être soumis.
- En somme, il s'agit de visualiser Flow en terme de fonctionnalités à remplir. La construction de trois diagrammes vont nous aider à bâtir l'analyse fonctionnelle qui nous guidera dans cette étude détaillée des besoins du client.

2.2.1 Diagramme bête à corne

Le diagramme bête à corne nous permet de comprendre rapidement la fonction principale de Flow en répondant à trois questions élémentaires :

- A qui est destiné le produit ?
- Sur quoi agit-il ?
- Dans quel but ?

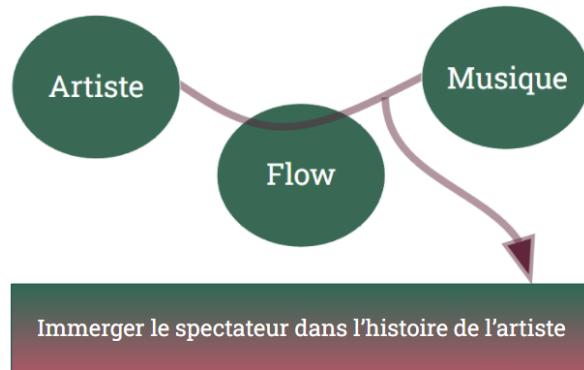


FIGURE 2.1 – Diagramme bête à corne de Flow

Flow permet de retranscrire visuellement les émotions qu'un artiste souhaite transmettre à son public. Il s'agit d'un instrument de musique visuel. Couplé à une performance musicale (auditive), il permet une immersion complète du public dans l'histoire que la performance vise à raconter.

2.2.2 Diagramme Pieuvre

Nous avons donc jusqu'ici défini clairement le besoin et la fonction principale de Flow. Il s'agit maintenant de le visualiser dans son environnement d'utilisation dans le but de déterminer les fonctions qui devront être mises en place.

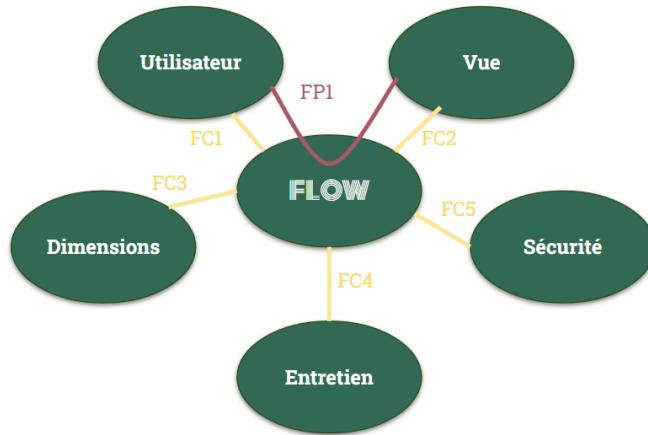


FIGURE 2.2 – Diagramme pieuvre de Flow

Flow doit composer avec cinq fonctions contraintes liées à son environnement d'utilisation.

FC1 : Le produit doit plaire à l'artiste et correspondre à ses attentes. Plus précisément, le produit devra retranscrire fidèlement l'émotion que l'artiste souhaite transmettre. Le rendu visuel doit également correspondre à la vision que l'artiste a de l'émotion en question.

Par exemple, si nous jouons sur les couleurs, la couleur affichée doit correspondre à l'émotion souhaitée du point de vue de l'artiste.

S'il souhaite visualiser de la mélancolie et s'il considère que le bleu est la couleur de la mélancolie, le visuel affiché par Flow devra être bleu

Cela signifie que l'artiste doit pouvoir contrôler manuellement le rendu.

FC2 : Le produit doit être une expérience visuelle agréable pour le spectateur. La performance de Flow devra être esthétique et ne pas heurter la sensibilité oculaire du public, ni lui provoquer une sensation inconfortable. Nous pensons notamment aux personnes épileptiques.

FC3 : Le produit doit avoir des dimensions conséquentes. La totalité du public présent doit être en mesure de profiter pleinement du spectacle.

FC4 : Le produit doit être facile d'entretien. La qualité du produit doit être garantie à chaque représentation.

- *Le ferrofluide doit conserver les mêmes propriétés pour chaque présentation*

- *Les parois de notre instrument doivent rester propres aussi bien de l'intérieur que de l'extérieur de la cuve contenant le ferrofluide*

FC5 : Le système doit respecter les normes de sécurité européennes pour pouvoir être mis sur le marché.

2.2.3 Diagramme FAST

La construction du diagramme pieuvre nous a permis de cibler les fonctionnalités nécessaires liées à notre instrument. Il en découle la construction du diagramme FAST (Function Analysis System Technique) qui permet de représenter les relations logiques qui existent entre une fonction à satisfaire et des solutions techniques.

Chaque fonction de service est divisée en sous-fonctions jusqu'à obtenir des fonctions élémentaires dans le but d'aboutir à des solutions techniques.

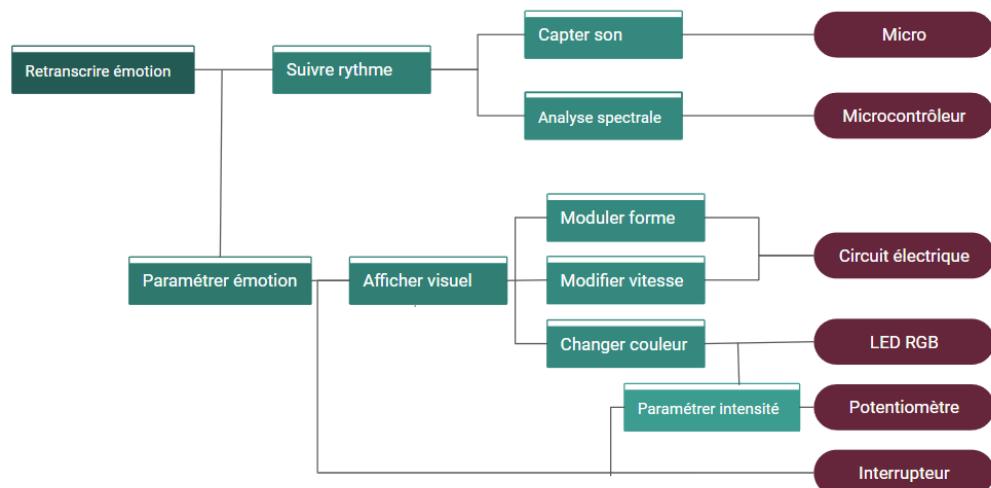


FIGURE 2.3 – Diagramme FAST de Flow

2.3 Analyse de la concurrence

Notre produit est unique pour deux raisons :

- Nous utilisons des ferrofluides. C'est une espèce chimique liquide composée de nanoparticules ferromagnétiques sensible au champ magnétique. La forme de ce liquide est donc modulable en contrôlant le champ magnétique autour du fluide.
- L'utilisation du ferrofluide permet de relier deux sens : l'ouïe, grâce à la musique, et la vue, grâce à la forme du ferrofluide mais aussi grâce à la couleur. En effet, le produit est équipé d'un système de LED de couleurs. La diffusion de lumière colorée sera pilotée en fonction de la musique ambiante, de sorte à transmettre l'émotion portée par la musique. Des études prouvent que l'association de plusieurs améliorer une expérience. En effet, il existe des personnes atteintes de synesthésie à la couleur et au son. Ce phénomène implique l'association de deux sens ouïe et vue. Lorsqu'une personne atteinte de cette maladie entend un son, elle va également percevoir une couleur associée à ce son[14]. Les couleurs diffèrent du son entendu. Des études montrent que ces personnes qui "observent" la musique sont plus sensibles à la musique. Ainsi, l'association de ces deux sens permettrait aux spectateurs d'être davantage plongés dans le spectacle et de pouvoir avoir une expérience immersive de la musique.

Il n'existe à ce jour pas d'objet comparable à notre produit dans le commerce. Cependant, il existe des objets qui répondent tentent de relier musique est couleur :

- Les boîtes de nuit utilisent avec les boules de discothèque qui accompagnent la musique de fête en émettant ou réfléchissant des lumières colorées. Cependant, ces dispositifs diffusent la couleur de ces lumières de manière aléatoire. Notre produit à l'avantage de diffuser les couleurs suivant les caractéristiques de la musique.



FIGURE 2.4 – Boule de discothèque

- L'objet se rapprochant le plus de notre produit est l'equalizer graphique. L'equalizer est à l'origine un tableau de commande de volume qui permet de rendre une partie du spectre de fréquence plus présente qu'une autre. L'equalizer graphique est un dérivé de l'equalizer classique : chaque intervalle de fréquence est représenté par une bande verticale de couleur. Lorsqu'une musique est jouée, les bandes de couleur correspondants aux fréquences principales seront très éclairées alors que les bandes de couleur

correspondants aux fréquences secondaires seront peu éclairées. Cependant, les equalizers sont des tableaux de commandes en 2D. Finalement, on regarde un écran comme si l'on regardait une vidéo. Notre produit à l'avantage d'offrir un spectacle en 3D permettant au spectateur de vivre une expérience immersif et de profiter au maximum de la performance.

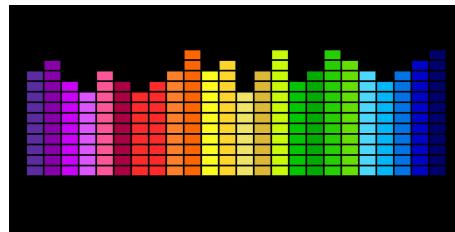


FIGURE 2.5 – Equalizer graphique

2.4 Analyse des ressources

Pour réaliser notre ambitieux projet, nous allons avoir besoin de multiples ressources de différentes catégories : humaines, financières, matérielles, mais également de connaissances et d'études scientifiques sur le comportement du ferrofluide.

La première ressource est bien évident nous quatre car c'est nous qui avons l'idée et la motivation pour la réaliser. Notre rôle est également de transmettre notre idée afin de motiver des entreprises, des partenaires, des investisseurs à nous rejoindre dans notre projet.

Une 2ème ressource proche de nous est l'école d'Art Appliqué de Cergy, Ecole nationale Supérieure d'Art de Paris Cergy. Il faut interroger les principaux concernés, comme préciser dans le diagramme bête à corne, ce sont les artistes.

Ensuite, nous avons cherché un soutien scientifique pour nous aider à avancer sur les propriétés du ferrofluide. Cette ressource est un peu plus loin car la chercheuse travaille à l'université Sorbonne à Paris.

L'aspect financier est également étudié. Pour avoir des investisseurs qui nous soutiennent dans le temps, et cela est primordial pour nous car nous souhaitons proposer des prestations exceptionnelles ce qui demandent des délais de préparation plus longs que pour une prestation ordinaire. En effet il existe un allègement fiscal pour les entreprises pour soutenir la création artistique. " Jusqu'à 30 pourcent défiscalisables sur 5 ans selon la tranche d'imposition de l'entreprise." Donc notre projet peut être prometteur en France car on a la chance d'avoir des dispositions pour soutenir l'art qui sont bien ancrés dans notre culture et notre société.

Chapitre 3

Business plan

3.1 Stratégie de vente

Flow est un produit unique qui vise à révolutionner l'expérience musicale qu'apporte un concert en le complétant par une immersion visuelle. L'utilisation du ferrofluide et son interaction instantanée avec la musique qu'il reçoit en fait un produit innovant à destination de professionnels en quête d'un spectacle unique et exceptionnel.

3.1.1 Distribution

Bien que nous concevons cet instrument visuel pour les artistes qui performent, nos clients cibles sont les propriétaires de salles de concerts, boîtes de nuit, organisateur de grands évènements etc.

En effet, en proposant le produit directement aux artistes, nous craignons que Flow ne soit associé qu'à un seul artiste voire une seule performance. Si Flow est présenté au grand public par le biais d'un artiste et non d'une salle de concert, notre instrument sera associé de manière permanente à cet artiste car l'innovation qu'apporte Flow est suffisamment marquante. Autrement dit, nous craignons que la technologie de Flow devienne la particularité d'un seul artiste pour le public. Ceci empêcherait toute autre vente. Il y aurait un risque élevé pour les autres utilisateurs d'être qualifiés de non-originaux, de déjà-vu, et dans le cas le plus regrettable pour un artiste, d'être accusé de plagiat.

Ainsi, en proposant notre produit uniquement à certaines salles fixes ou à des évènements uniques de grandes envergures, les différents artistes ont la liberté de profiter de l'expérience qu'apporte Flow en choisissant ou non d'intégrer les salles équipées à leurs tournées.

Le public ne serait également pas lassé du spectacle une fois la technologie lancée et connue puisqu'elle possède une dimension poétique et artistique. A l'image de spectacles de jets d'eau que le public apprécie de regarder une fois de temps en temps, nous souhaitons proposer le produit à des évènements visant à

offrir un spectacle unique comme les parcs d'attractions ou bien les cérémonies d'ouvertures, les festivals ...

3.1.2 Prix

Il s'agit maintenant de définir la gamme de prix de notre produit. Nous souhaitons proposer un produit :

- professionnel et de haute qualité
- offrant un spectacle unique et marquant à chaque performance

Nous optons donc pour un produit rare et non accessible. C'est pour cela que nous plaçons Flow comme un instrument de gamme premium.

En réfléchissant aux différentes stratégies, nous souhaitons donner l'accès à la technologie Flow par un système de location sur plusieurs années et non par une vente définitive.

En effet, au vu de la dimension de l'équipement et par son innovation, les salles peuvent être dubitatives quant au gain que Flow leur apporterait. Pour cela, nous proposons un contrat de location sur 3 ans pour un prix fixe. A la date d'échéance, nous procéderons à une revalorisation de la location en fonction des performances de notre produit sur les recettes obtenues.

En comparant les différents prix pour les équipements de concerts de gamme premium, nous estimons le prix de départ de l'équipement autour de 30 000 € (15 000 € enceintes premium, 3 000 € écran, 7 000€ instruments de musique et 5 000 € pour le matériel complémentaire tel que les micros, les platines)

Pour les évènements ponctuels comme les cérémonies d'ouvertures ou les prestations purement artistiques, nous facturerons à la performance.

En étudiant le prix des spectacles qui se classent dans la même catégorie que Flow nous obtenons une gamme de prix diverses :

Spectacles	Prix moyens
Ombres chinoises	5 000 à 10 000 €
Feu d'artifice du 14 juillet	750 000 €
Fontaine de Dubaï : spectacle de jets d'eau	280 millions d'€

FIGURE 3.1 – tableau de prestations exceptionnelles et le coût d'installation

3.2 Communication

3.2.1 Image de marque

Commençons par expliquer pourquoi avons-nous choisi le nom "Flow". La décision a été prise du fait de la prononciation de "Flow". Le flot (avec un t) en

français désigne un liquide en mouvement ce qui fait bien sûr référence au ferrofluide, l'aspect atypique et intriguant de notre projet. Ensuite, par définition, le Flow en anglais est un état mental et émotionnel. Fondamentalement, le Flow se caractérise par l'absorption totale d'une personne par son occupation. C'est ce que vise à fournir notre instrument : plonger, absorber le public dans l'univers et l'émotion de l'artiste.

Nous souhaitons également vous présenter officiellement le slogan de notre produit : Flow, l'esprit de ton âme. L'esprit fait référence à l'état d'esprit de l'artiste lorsqu'il a composé sa musique. L'âme, quant à elle, fait référence à la musique et au sens que l'artiste souhaite lui donner. De ce fait, notre instrument a pour but de redonner le contrôle de sa musique à l'artiste. Il va pouvoir installer l'atmosphère visuelle de sa performance d'où le pronom possessif "ton". C'est bien l'esprit de SON âme que le spectateur va visualiser.

Ensuite, la forme du logo a été pensé de telle sorte à transmettre cette idée de fluide en mouvement avec des formes arrondies. Nous avons choisi cette forme car nous pouvons imaginer un instrument ressemblant à une contrebasse. Nous avons également ajouté des notes de musique pour souligner la complémentarité de notre instrument avec les instruments de musiques destinés à l'immersion auditive. Cependant ce prototype de logo n'est pas totalement en accord avec le nom "Flow" et l'aspect luxueux de notre marque. En effet, "Flow" renvoie à un univers urbain et contemporain tandis que le logo a les caractéristiques de BD des années 80. Il faudrait alors choisir l'époque et déterminer un seul style afin d'apporter une cohérence à ce que Flow renvoie comme image.

Quant au choix de la couleur, nous souhaitons le mélange entre les émotions fortes, illustrées par le rouge, et les émotions douces, illustrées par le bleu. Nous avons donc choisi un vert pastel comme couleur principale et un rouge pétant qui est la couleur complémentaire afin de faire ressortir le vert que nous avons choisi.

3.2.2 Communication traditionnelle

L'inauguration de grands événements est un point crucial pour les organisateurs. Il existe plusieurs stratégies pour attirer les clients qu'on va citer dans cette partie :

- Offre de spectacles découvertes
- Gratuité de la première partie d'un spectacle
- Démonstration dans une galerie d'art
- Démonstration dans des salons et des forums
- Publicité dans les lieux publics

Rien de mieux qu'une démonstration pour que les futurs utilisateurs puissent apprécier l'innovation de Flow. Pour cela, Flow est ouvert à des collaborations avec des artistes et des orchestres pour construire ensemble l'image classe et luxueuse de la marque Flow.

3.2.3 Communication virtuelle

Nous comptons sur les partages de photos et vidéos ainsi que du ressenti des utilisateurs pour faire connaître la marque. Nous refusons les placements de produit car Flow est une marque haute de gamme qui cherche à communiquer par des témoignages volontaires et non rémunérés. Des photographes se chargeront de capturer les émotions et nos évènements afin de les rassembler par la suite sur nos réseaux et notre site internet.

Chapitre 4

Etude théorique

4.1 Théorie de la musique

4.1.1 Musique et émotion

Dans cette partie, nous souhaitons déterminer automatiquement l'émotion d'une musique lorsqu'elle est jouée. Nous souhaitons donc faire le lien entre l'émotion que le musicien souhaite dégager et les notes de sa musique. En fait il s'agit de lire l'émotion que dégage une partition de musique.

Dans un premier temps, nous avons étudié la théorie de la musique pour commencer à comprendre les bases du solfège. D'après Wikipédia, "selon la théorie de la musique occidentale, le rythme, la mélodie et la polyphonie déterminent principalement la musique".

Première chose à remarquer : la musique est interprétée différemment selon la culture de chaque région du monde. Nous nous concentrerons donc seulement sur l'interprétation occidentale de la musique.

Deuxième remarque :

- D'après le dictionnaire le petit Robert, la **mélodie** est "un ensemble de sons successifs (par opposition à harmonie = combinaisons de sons agréables à l'oreille) formant une suite musicale reconnaissable et agréable".
- D'après le centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, la **polyphonie** correspond à "la superposition de deux ou plusieurs mélodies indépendantes, vocales et/ou instrumentales, ayant un rapport harmonique ou non".

Pour simplifier la création de notre premier prototype, nous analyserons les musiques jouées par un seul instrument, le piano. Il est donc inutile d'analyser la polyphonie de la musique.

Le rythme

Laquintejuste.com nous propose la définition suivante : Rythme = enchaînement de notes + valeurs notes.

L'enchaînement de note correspond au tempo de la musique.
La valeur note indique la durée d'une note jouée ou d'un silence :

Leurs noms:	Leurs figures:	Leurs valeurs:
La ronde	o	4 temps *
La blanche	j	2 temps
La noire	j	1 temps
La croche	j	1/2 temps
La double croche	j	1/4 temps
La triple croche	j	1/8 temps
La quadruple croche	j	1/16 temps

FIGURE 4.1 – www.theoriedelamusique.com : les figures de notes

Leurs noms:	Leurs figures:	Leurs valeurs:
La pause	—	4 temps
La demi-pause	—	2 temps
Le soupir	z	1 temps
Le demi-soupir	z	1/2 temps
Le quart de soupir	z	1/4 temps
Le huitième de soupir	z	1/8 temps
Le seizième de soupir	z	1/16 temps

FIGURE 4.2 – www.theoriedelamusique.com : les figures de silences

Pour déterminer l'émotion d'une musique, nous allons nous concentrer uniquement sur son rythme et sa mélodie. En effet, les partitions de piano présentent deux portées simultanées : l'une pour la main droite et l'autre pour la main gauche.

De manière générale, la main droite permet de définir la mélodie globale de la musique tandis que la main gauche impose le rythme.

Première méthode

Pour déterminer le type d'émotion (forte ou douce) d'une musique, nous allons prendre en compte les caractéristiques suivantes :

- fréquence des notes jouées : musique plutôt aiguë ou musique globalement grave
- tempo de la musique

Voici comment nous allons procéder pour lire l'émotion sur une partition : Il faut tout d'abord lire les clés (pour la hauteur du son). Clé de sol utilisée pour noter les sons aigus et clé de fa pour noter les sons graves. Ensuite, pour déterminer le tempo, nous regardons deux choses :

- La valeur de la mesure qui sépare la partition à intervalles de temps égales :

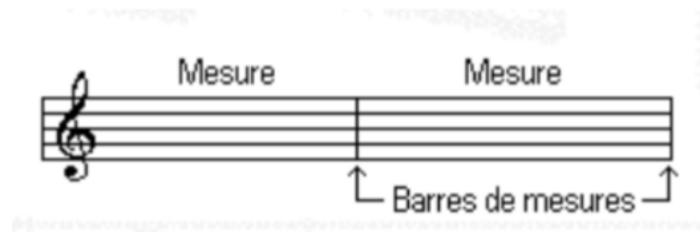


FIGURE 4.3 – Barre de mesure d'une partition

- La valeur des notes ou des silences

Appliquons cette théorie à la partition suivante :

River Flows In You 2/4

The musical score consists of four staves of piano music. The top staff shows a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The bottom staff shows a bass clef and a key signature of one sharp (F#). The music is in 2/4 time. The score includes dynamic markings such as 'p' (piano) and 'mf' (mezzo-forte). The website address 'www.letsmusic.com' is printed at the bottom of the score.

FIGURE 4.4 – www.letsmusic.com : extrait de la partition de piano de *River flows in you* par Yiruma

A première vue, les mesures sont "remplies". Il y a beaucoup de notes et les valeurs notes montrent un tempo élevé, rapide. En effet, les notes sont toutes des croches ou double-croches noires.

Pour la hauteur des notes, globalement, la musique se joue plutôt avec des notes aiguës.

Cette analyse très sommaire de la partition nous donne à penser que la musique a un rendu joyeux et énergique.

Pourtant, d'après l'analyse du site internet songmeanings+facts [9], la musique est souvent utilisée pour exprimer des émotions douces comme la mélancolie et la tristesse.

Analyser la partition ne suffit pas pour déterminer l'émotion de la musique.

Deuxième méthode

Analyser la partition note par note ne marche pas. Essayons donc de trouver s'il n'existe pas des motifs récurrents à la musique douce et à la musique dynamique. Pour trouver ces motifs récurrents, nous nous sommes aidés des vidéos Youtube de Caroline Chevalier [7].

Pour le piano, nous trouvons tout d'abord que l'émotion peut se deviner à travers les accords majeurs ou mineurs :

* **Accords majeurs**

Do : do-mi-sol
Ré : ré-fa-la
Mi : mi-sol-si
Fa : fa, la, do
Sol : sol, si, ré
La : la-do-mi
Si : si-ré-fa

* **Accords mineurs**

Do : do-mi bémol-sol
Ré : ré-fa-la
Mi : mi-sol-si
Fa : fa, la bémol, do
Sol : sol, si bémol, ré
La : la-do-mi
Si : si-ré-fa

Couramment, les accords majeurs sont perçus comme donnant à la musique un rythme gai. Les accords mineurs sont elles dites tristes.

Pourtant, Caroline nous fait part de sa difficulté à deviner à l'oreille le type d'accord durant son apprentissage au conservatoire. En effet, elle associe certains accords majeurs à des émotions tristes et certains accords mineurs à des émotions douces.

Ceci montre que finalement, l'émotion que procure une musique est très subjective et ne dépend que de l'interprétation et de la sensibilité de chacun. Ainsi, même avec des motifs récurrents, interpréter une émotion en ne se basant que sur une partition est une tâche très complexe sinon impossible.

Solution

Nous sommes conscients que nos connaissances élémentaires sur la théorie de la musique ne nous permettent pas de lire une émotion à travers une partition. Nos recherches sur le sujet ne nous fournissent pas de solution à cette problématique, nous sommes donc incapables de déterminer sa résolvabilité ou non. Néanmoins, il existe plusieurs exemples pour lesquels la musique n'inspire pas du tout au grand public l'émotion que souhaite transmettre l'auteur (émotion que l'on détermine à travers les paroles).

Prenons l'exemple de la musique japonaise Racing Into the Night par Yosobii. L'écoute de la musique sans prêter attention aux paroles déclenche un sentiment énergétique et joyeux. La preuve en est, une tendance du réseau social Tiktok reprend cette musique en dansant joyeusement dessus [3]. Cependant, en se focalisant sur les paroles, la musique traite en réalité du sujet sensible qu'est le suicide et la perte d'un être cher. Nous comprenons alors que la musique fait passer un message sombre et triste.

Une citation populaire d'un auteur anonyme exprime bien ce déphasage qui existe entre une musique et les paroles qui l'accompagnent : "Quand on est heureux, on écoute de la musique. Quand on est malheureux, on comprend les paroles."

L'étude de notre problématique nous démontre qu'il est difficile de ressortir une émotion en se basant uniquement sur des partitions (c'est-à-dire les notes jouées par le compositeur).

Nous décidons donc de déléguer le paramétrage de l'émotion à l'artiste lui-même. Il indiquera au technicien chargé du réglage de notre instrument l'émotion réelle de la musique. En fonction de son accordage, Flow adaptera ses fonctionnalités.

4.1.2 Théorie du microphone

Un microphone est un appareil capable de convertir un signal acoustique en signal électrique. Il existe plusieurs types de micro, nous devons déterminer le microphone plus adapté pour notre produit.

Il existe tout d'abord 2 types de microphone :

- Les microphones dynamiques : ce sont les microphones les plus utilisés. On les retrouve dans les concerts. Un microphone dynamique suit le schéma suivant :

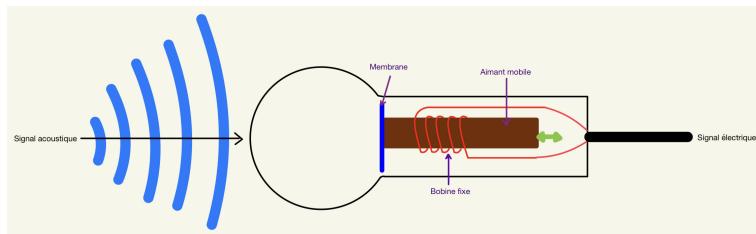


FIGURE 4.5 – Schéma interne d'un microphone dynamique

Le son est une onde mécanique qui compresse et décomprime l'air. Ainsi, lorsqu'une onde acoustique entre dans le micro, la membrane dans le microphone (et donc l'aimant mobile) va se déplacer (à droite quand il y a une compression et à gauche lorsqu'il y a une décompression). Un son aigu, donc de haute fréquence, se caractérise par déplacement rapide de l'aimant. L'aimant produit un champ magnétique. Lorsqu'il se déplace, un courant induit apparaît dans la bobine fixe d'après la loi de Faraday : $e = -\frac{d\phi}{dt}$ avec le flux magnétique $\phi = B * S$ pour une surface constante. Ainsi, les caractéristiques du son sera retranscrites en signal électrique grâce à notre microphone dynamique. Le microphone dynamique n'a pas besoin d'être alimenté.

- Les microphone statiques : ce sont les microphones utilisés lors des conférences. Un microphone statique suit le schéma suivant :

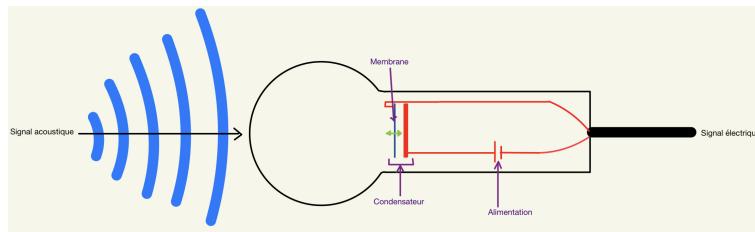


FIGURE 4.6 – Schéma interne d'un microphone statique

Le microphone statique est composé d'un condensateur dont l'une des deux plaques constitue la membrane. Contrairement au microphone dynamique, le microphone statique nécessite une alimentation. Un courant traverse donc le condensateur. En suivant le même principe que pour un microphone dynamique, la membrane se déplace suivant les caractéristiques du son. De cette façon, la valeur du condensateur varie en fonction des mouvements de la membrane. De la même façon, le signal électrique généré reprend les caractéristiques du signal acoustique.

Choix du microphone

Les deux types de microphone présentent des avantages et inconvénients :

Microphone dynamique		Microphone statique	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
Il est très solide.			Il nécessite d'une alimentation donc la batterie et le câblage est encombrant.
Il supporte des sons de grandes amplitudes.	Il prend beaucoup de place et il est lourd.	Il est petit et léger donc facile à placer.	Il est très sensible donc il détecte les bruits de fond.
Il n'a pas besoin d'alimentation donc il n'y a pas de problèmes d'encombrement dû à des câbles.	Il ne détecte pas les hautes fréquences.	La qualité du son est excellente.	Il ne supporte pas de gros volumes sonores.
Il est peu sensible aux changements de fréquences : les bruits de fond ne sont pas détectés.			

Ainsi, le microphone statique est plus adapté pour des sons de paroles ou de chant sans bruits de fond alors qu'un microphone dynamique est plus adapté pour des sons de fêtes avec de gros volumes. Notre produit étant pour les scènes de spectacle, nous utiliserons un microphone dynamique.

Choix de la directivité

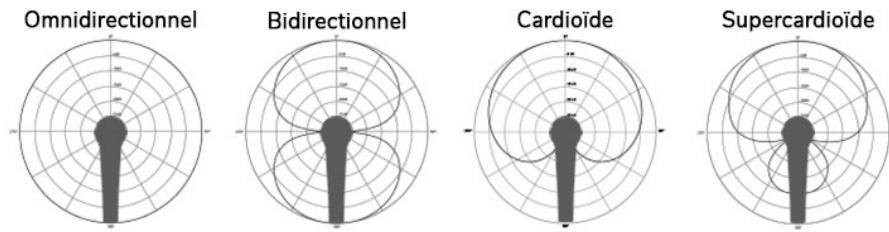


FIGURE 4.7 – Les différentes directivités d'un microphone

Le microphone possède plusieurs directivités, c'est-à-dire qu'il peut préférer l'enregistrement d'un son provenant d'un côté plus que d'un autre. On distingue quatre grandes catégories de directivités :

- Omnidirectionnel : Le microphone capte les sons venant de tous les côtés (donc sur 360°).
- Bidirectionnel : Le microphone capte les sons en avant et en arrière. Il permet de réduire les sons provenant des côtés. Ce microphone est utilisé pour enregistrer deux personnes face à face (dialogue entre deux personnes ou duo de deux chanteurs).
- Cardioïde ou unidirectionnel : Le microphone capte les sons en avant seulement et les sons provenant de l'arrière sont rejetés. Cette directivité

est très utilisée en chant. Il est utilisé en concert et permet d'éviter les effets Larsen.

- Supercardioïde : Similaire au cardioïde avec une zone de détection en arrière pour ajouter une touche d'ambiance.

La directivité de notre microphone doit être choisie en fonction de l'endroit où l'on va le placer et surtout la manière dont on veut l'utiliser, les sons que l'on veut enregistrer.

4.2 Théorie du ferrofluide

Dans cette partie, nous souhaitons prédire les mouvements du ferrofluide pour pouvoir les contrôler à l'aide d'électroaimants. Ceci nous permettrait donc de dessiner l'histoire de notre artiste en fonction de ce qu'il veut que l'on représente.

4.2.1 Qu'est-ce que le ferrofluide ?

Le ferrofluide[2][1] est une solution colloïdale (les effets de la gravitation doivent pouvoir être négligés devant ceux de l'agitation thermiques) de nanoparticules ferromagnétiques d'une taille de l'ordre de 10 nm dans un solvant ou de l'eau (ici de l'huile hydrocarbonnée). Ils sont le plus souvent composés de nanoparticules d'oxyde de fer (magnétique ou de maghémite).

Lorsque le fluide n'est soumis à aucun champ magnétique, les moments magnétiques portés par les nanoparticules sont orientés aléatoirement : l'aimantation totale du fluide est alors nulle. Tandis que si l'on soumet le ferrofluide à un champ magnétique : les moments magnétiques de ses particules s'alignent sur le champ auquel elles sont soumises.

4.2.2 Propriétés magnétiques

Le ferrofluide[13] que nous utilisons à les propriétés suivantes :

Propriétés physiques	Unité SI
Apparence	liquide noir et visqueux
Liquide porteur	huile hydrocarbonnée
Magnétisation à saturation (M_s)	30 mT (28 35)/ 23873 A/m
Viscosité (à 27°C)	80 mPa.s (30 200)
Densité (à 27°C)	1,04 g/cm ³ (1,02 1,08)
Température de travail	-20°C +130°C
Point de solidification	-50°C
Point d'ébullition	Supérieure à 250°C
Point d'ignition (liquide s'enflamme spontanément)	Supérieure à 180°C

Magnétisation à saturation $M_s = 30mT$

Si le champ augmente davantage, la réponse magnétique du ferrofluide est la même et l'aimantation globale du ferrofluide reste inchangée.

Susceptibilité magnétique du ferrofluide χ

C'est une grandeur adimensionnelle qui traduit le potentiel d'un ferrofluide à s'aimanter sous l'effet d'un champ magnétique. Plus ce paramètre est grand, plus la réponse du ferrofluide aux champs faibles est bonne. Pour un ferrofluide, elle varie en général de 1 à 5. Le comportement magnétique d'un ferrofluide est le même qu'un paramagnétisme géant, c'est-à-dire qu'il ne possède pas d'aimantation spontanée mais que sous l'effet d'un champ magnétique extérieur il acquiert une aimantation dirigée dans le même sens que ce champ d'excitation.

$$\vec{M} = \chi \vec{H} \rightarrow \text{valable seulement si non saturé}$$

Loi de Langevin

Cette susceptibilité magnétique est relié à la loi de Langevin. En effet, c'est la pente dans la zone linéaire de cette loi. La loi de Langevin est donc la suivante :

$$M = \phi M_0 (\coth \alpha - \frac{1}{\alpha})$$

$$\alpha = \frac{\pi \mu_0 M_0 d_p^3 H}{6 k_B T} \text{ avec } k_B = 1,380649 \cdot 10^{23} J.K^{-1}$$

$$M_0 \text{ magnétique} = 4,5 \cdot 10^5 A.m^{-1}, d_p = 10 nm, \phi = \frac{7,3}{100} \text{ et } T = 20 C = 293,15 K$$

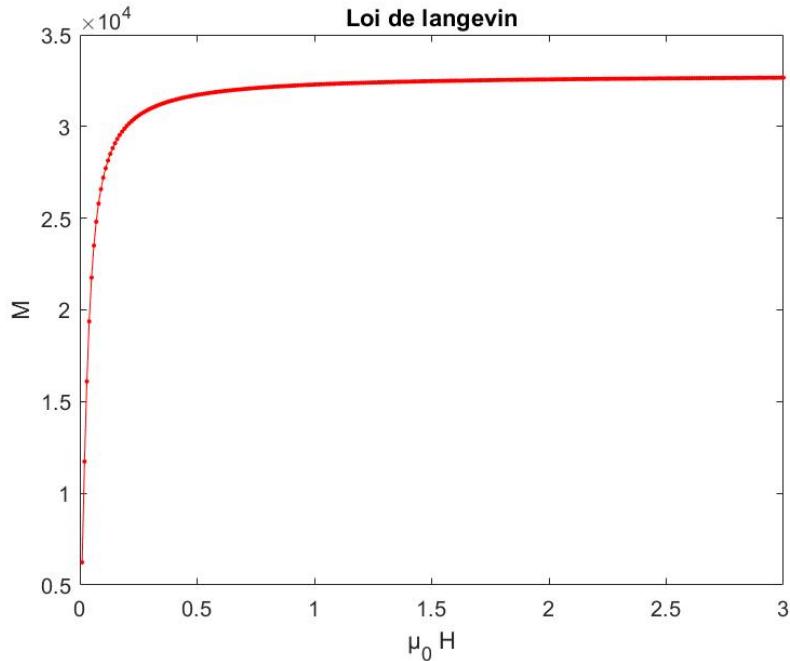


FIGURE 4.8 – Loi de Langevin tracé sous Matlab

Temps de Brown τ_B

C'est le temps nécessaire à la rotation de la particule et donc à l'alignement de son moment magnétique.

$$\tau_B = \frac{3\eta_0 V_{hydroP}}{k_B T} \text{ et } V_{hydroP} = \frac{\pi(d_p+2s)^3}{6}$$

où η_0 (Pa.s) : viscosité dynamique du fluide porteur et V_{hydroP} : volume hydro-dynamique de la particule incluant l'épaisseur de son surfactant s.

4.2.3 Générateurs de champs magnétiques

Nous avons étudié plusieurs façons de créer un champ magnétique. En effet, il existe diverses éléments nous permettant de faire bouger notre ferrofluide. Dans cette partie, nous allons reprendre les avantages et les inconvénients de chacun de ses éléments afin de choisir celui qui répondra le mieux à notre besoin.

	Avantages	Inconvénients
Aimants	Peut créer des champs très forts : Ferrite (~ 10 mT) à Néodyme (~ 1 T)	Ils ne sont pas pilotables donc il faudrait créer un système mécanique pour faire bouger notre ferrofluide
Bobines de Helmholtz	Pilotable	Trop encombrant
Solénoïdes	Ils sont pilotables.	Leur champ magnétique est trop faible et ne dépasse pas 1 mT.
Electro-aimants	C'est un aimant qui est pilotable. On peut faire varier son champ magnétique et l'annuler si besoin. (Pour cela il faut prendre un noyau en ferromagnétique doux pour annuler l'alimentation, le ferromagnétique dur garde une aimantation). Crée un champ de l'ordre ~ 10 mT.	

Conclusion

Pour répondre à notre besoin, nous choisissons donc les électro-aimants. Ils sont pilotables et possèdent de champs magnétiques rémanents très faibles, voir négligeable. Pour que l'on puisse piloter notre ferrofluide sur l'ensemble de la surface, il nous faudra alors pavé l'arrière de notre écran avec ces électro-aimants.

Chapitre 5

Partie expérimentale

5.1 Expériences sur le Ferrofluide

Toutes les vidéos réalisés lors de ces expériences sont retrouvables sur notre GitHub.

5.1.1 Première expérience : création de ferrofluide

La première chose que nous avons voulu tester a été de créer notre propre ferrofluide. En effet, il y a peu de vendeur de ferrofluide et cela reste relativement cher. De plus, nous avons trouver des "recettes" sur internet pour créer notre propre ferrofluide. En regardant un tutoriel vidéo sur YouTube[11], cela ne semblait pas bien compliqué. Nous avons donc récupéré du toner d'imprimante et avons essayé de le mélanger avec de l'huile végétale. Malheureusement, tous les toners d'imprimantes ne possèdent pas de particules magnétiques. Cela fut donc un échec.

Nous avons pris contact avec Delphine Talbot, une chercheuse du laboratoire PHENIX de l'université de la Sorbonne à Paris, qui a étudié le ferrofluide. Elle nous a appris que synthétiser un ferrofluide qui soit à la fois stable et réactif aux électro-aimants n'était pas une mince affaire. Malheureusement, l'ENSEA ne dispose pas de laboratoire de chimie nous permettant de le synthétiser nous avons donc du nous contraindre à en acheter.

5.1.2 Deuxième expérience : Ferrofluide de SuperMagnete

Nous avons donc acheter un ferrofluide de la marque SuperMagnete[13]. Nous n'avons pas eu trop le choix car nous sommes passés par le système de l'école pour payer le ferrofluide. Lorsque nous l'avons reçu, nous avons voulu tester une goutte de ferrofluide dans de l'eau distillée pour tester les effets du ferrofluide. Malheureusement, le ferrofluide collait à la surface du verre et ne voulait plus bouger après.

Une rapide recherche sur internet nous a indiqué que le ferrofluide ne collait plus au verre lorsqu'il était dans une solution de saumure : une solution saturée en sel. Cependant, cette expérience resta un échec car le ferrofluide collait toujours à la paroi en verre. De plus, l'eau devenait très trouble ce qui n'était pas acceptable pour notre projet.

Nous avons pensé à changer de matériaux. Nous avons donc tester plusieurs sortes de plastiques ou de matériaux transparents. En effet, Flow est un produit qui consiste à "visualiser" l'âme de l'artiste. Il faut donc qu'on puisse voir correctement le ferrofluide bouger.

Malheureusement quelque soit le matériau, le ferrofluide continue de coller à la paroi. Non seulement le ferrofluide ne peut plus vraiment bouger, en plus nous perdons la transparence du verre car les tâches de ferrofluide sont collées à la paroi.

5.1.3 Troisième expérience : Ferrofluide EFH1

D'après cet article[10], nous avons trouvé un protocole qui est censé résoudre notre problème de ferrofluide qui colle à la paroi. Cette solution demande une préparation sur plusieurs semaines. Nous comprendrons par la suite que plus on attend et mieux le ferrofluide réagira.

Le ferrofluide utilisé est le Ferrotec EFH1 (commandé sur Amazon). Ceci a son importance. En effet, Delphine Talbot nous a expliqué que selon le ferrofluide utilisé, le pourcentage en magnétite ou même l'huile utilisée comme solvant organique ne sera pas le même. Suivant ces propriétés, le ferrofluide adhérera plus ou moins à notre paroi en verre. Nous vous recommandons donc de bien utiliser du ferrofluide EFH1.

Le sel doit être du sel kosher ou du NaCl pur. En effet, il ne faut pas le moindre additif dans le sel. Plus le sel sera pur, moins le ferrofluide aura tendance à adhérer. Dans notre cas, il est aussi important de prendre le moins d'additif possible pour que l'eau reste la plus transparente possible. De plus, toute notre verrerie doit être nettoyée à l'ammoniac car tout résidu d'impureté sur notre verre fera adhérer le ferrofluide.

Dans ce même article, ils ont notamment remarqué que les pots de cornichons fonctionnaient encore mieux que n'importe quels autres récipients en verre. C'est pourquoi on laissera notre récipient reposer pendant deux jours dans du vinaigre.

Voici donc le protocole que nous avons réalisé :

1. Préparer le ferrofluide : Le faire chauffer pour évaporer 20% des hydrocarbures (l'huile qui entoure les particules de ferromagnétique), cela revient donc à réduire le poids pur du ferrofluide d'environ 10%. Cette étape sert à ce que le ferrofluide réagisse plus vite à l'électro-aimant notamment.

Nous avons réalisé cette étape en faisant un bain marie et en laissant le ferrofluide à chauffer pendant environ deux heures.

2. Préparer la solution de saumure : Rincer la verrerie avec de l'eau chaude et de l'ammoniac jusqu'à ce que l'eau ne forme pas de perle sur le verre mais que l'eau s'écoule en feuille. Rincer à l'eau chaude et sécher. Verser une quantité d'eau distillée à température ambiante dans le récipient (200mL). Verser ensuite régulièrement le sel kosher et remuer avec un agitateur propre jusqu'à saturation. Pour 200mL il faut 71,4g de sel.
3. Préparer le récipient : pas de plastique mais absolument du verre propre. Il y a moins d'adhésion sur du verre sorti des souffleurs de verre. Nettoyer le récipient avec de l'eau chaude et de l'ammoniac. Faire chauffer au fur et à mesure dans un four. Mettre du vinaigre pendant 2 jours minimum. Rincer à l'eau distillée. Puis mettre la solution saturée en sel et la laisser reposer pendant une semaine dans le récipient.
4. Ajout du ferrofluide : Rajouter de l'eau distillée pour remplir le récipient jusqu'au bord. Transférer le ferrofluide dans la solution de saumure en plaçant la pointe de la pipette à environ 2,5 cm de la surface. Aspirer le ferrofluide qui reste en surface avec une serviette en papier. Enfin sceller le récipient avec une petite bulle d'air en haut. Attendre à nouveau une semaine pour n'avoir aucun résidus sur votre verre.

Nous avons donc enfin obtenu notre premier récipient en verre de ferrofluide qui fonctionne. Quelques tâches de ferrofluide ce sont faites remarquer mais elles étaient moindre comparées aux précédentes tâches. Nous sommes alors partis en vacances ce qui a laissé notre ferrofluide dans un placard pendant deux semaines. Lorsque nous sommes revenues, le ferrofluide n'attachait plus et il était encore plus fluide qu'avant. C'est là que nous avons compris que le maître mot était la patience et l'attente pour que notre ferrofluide ne colle pas.

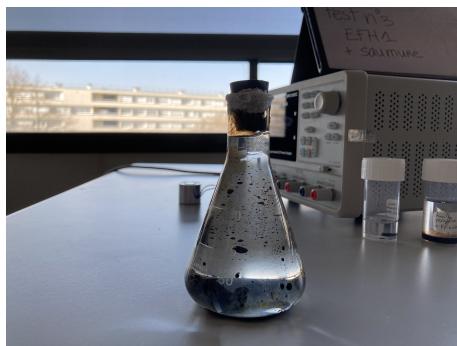


FIGURE 5.1 – Solution de ferrofluide créée

5.1.4 Dernière expérience : Comparaison des différents ferrofluides



FIGURE 5.2 – Différents ferrofluides synthétisés par Delphine Talbot

Nous avons testé trois ferrofluides différents à l'aide d'un électro-aimant alimenté en 12 V.

Une goutte de FF-acide dans de l'huile de paraffine

Le FF-acide est un ferrofluide synthétisé avec de l'eau et des particules de ferrofluide. Lors de cette expérience, nous remarquons que la goutte de ferrofluide est bien attirée par l'électro-aimant. On remarque cependant que le mouvement est assez lent. Cela vient du fait que le solvant utilisé est de l'huile est non de l'eau saturée en sel.

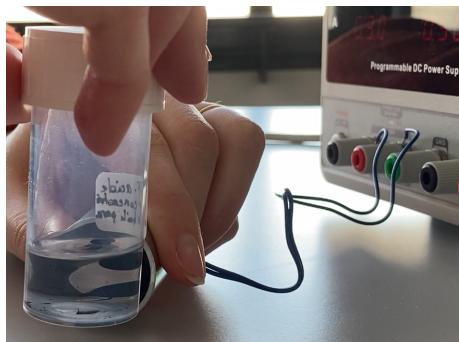


FIGURE 5.3 – Aimantation d'une goutte de FF-acide dans de l'huile de paraffine

Beaucoup de FF-acide dans de l'huile de paraffine

Dans cette expérience, nous nous sommes rendus compte que le ferrofluide ne se séparait pas sous le champ magnétique de l'électro-aimant. Il nous est donc impossible de le déplacer.

On remarque que le ferrofluide est bien attiré par l'électro-aimant. Cependant, ce dernier est trop dense pour pouvoir être déplacer. Il nous est donc pas possible d'utiliser ce ferrofluide pour notre projet.

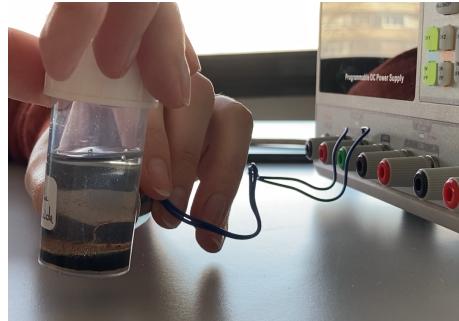


FIGURE 5.4 – Aimantation d'une grande quantité de FF-acide dans de l'huile de paraffine

Notre ferrofluide EFH1 dans une solution de saumure

Cette expérience nous a donc permis de remarquer que le ferrofluide EFH1 est le meilleur pour notre projet. Il est beaucoup plus réactif que les deux expériences précédentes. Il se détache de la paroi ce qui le rend maniable dans toute la solution.

De plus, lorsque le champ est très fort (ce qui correspond à une haute tension en entrée), nous pouvons voir la présence de pics de ferrofluide qui a un côté esthétique que l'on souhaite conserver. Ce n'était pas le cas lors des deux expériences précédentes.

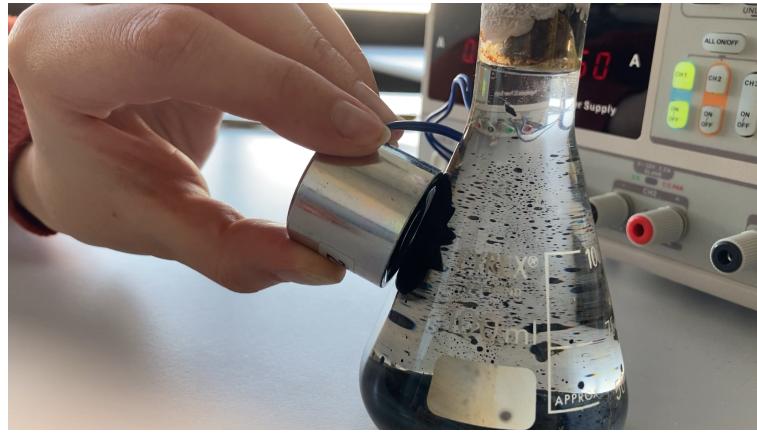


FIGURE 5.5 – Aimantation de notre ferrofluide EFH1 dans une solution de saumure

Nous retenons donc la solution de ferrofluide que nous avons créée lors de la troisième expérience pour continuer notre projet.

5.2 Traitement de signal

La partie traitement de signal se découpe en deux partie. La première partie consiste à récupérer les caractéristiques d'un signal entrant. La deuxième partie consiste à générer des signaux PWM à partir des informations obtenues.

5.2.1 Récupération du signal entrant

L'analyse spectrale s'effectue essentiellement dans le fichier audio.c du projet STM32CubeIDE. Nous effectuons la FFT du signal d'entrée et nous allons travailler sur son module dont le tableau des valeurs est "FFTOutputMag". Dans cette partie, les références aux lignes se font exclusivement sur le fichier audio.c sauf indications contraires

Pour caractériser notre signal d'entrée, il faut paramétrier les conditions de mesures de nos signaux. On va se concentrer sur les fréquences de musique comprises entre 0 et 2000 Hz. Ce paramétrage se fera sur deux buffers : la fréquence d'échantillonnage de notre signal d'entrée, et le nombre de points (et donc de valeurs) de notre FFT. Pour avoir une FFT la plus précise, il faut un maximum de points pour dessiner notre FFT : on fera choix "AUDIO-BUF-SIZ" = 1024 (Ligne 87) Augmenter la fréquence d'échantillonnage augmente la plage de fréquence et avoir une trop faible fréquence d'échantillonnage donne une mauvaise qualité de la FFT. Après plusieurs essais, la fréquence d'échantillonnage à 16kHz semble donc la plus adaptée (fichier main.c ligne 868). Pour améliorer la mesure, l'enregistrement se fait à l'aide des deux entrées du micro (pair et impair). On introduit dans l'argument de out[i]. Pour activer le micro pair (resp. impair), on écrit out[2*i] (resp. out[2*i]).

Deux versions ont été faites. La première consiste à récupérer la valeur de la fréquence du fondamental (Implémentation par fréquence Ligne 473). Nous parcourons "FFTOutputMag" jusqu'à la valeur correspondant à $f=2000\text{Hz}$ et nous récupérons la fréquence dont l'intensité est la plus grande. De cette façon, nous pouvons obtenir la fréquence du fondamental en temps réel. Dans nos tests, la fonction "printIndex" affiche la valeur de la fréquence et "printdB" la valeur de FFT en cette fréquence. Nous rencontrons quelques problèmes suite à cette méthode : nous voyons que l'apparition d'harmoniques et les fréquences affichées sont biaisées. De plus, il existe un bruit qui se traduit par une composante continue en $f=0\text{Hz}$. En effet, la qualité du microphone de la carte STM32 nous déforme notre signal d'entrée.

Pour contre balancer ce problème, nous avons opté pour une deuxième version.

La deuxième version consiste à diviser notre bande de fréquence en 9 intervalles plus petits et d'effectuer la moyenne des fréquences sur chaque

intervalle (Alternative par intervalle, Ligne 488). De cette façon, nous n'avons plus de soucis de bruit. La boucle for (ligne 492) permet d'incrémenter les valeurs du tableau "tab" de nos 9 intervalles de fréquence à partir de "FFTOoutputMag". Tandis que celle de la ligne 489 permet d'atténuer les valeurs de cet intervalle.

En effet, si on ne le fait pas, "tab" risque de prendre de très hautes valeurs inutilement si la musique est enregistrée en continu. On choisit la vitesse d'atténuation en divisant les valeurs de tab par 1.05 à chaque itération de la boucle for. Le choix de cette valeur a été faite de sorte à ce que l'atténuation ne soit pas trop rapide (pour que les aimants aient le temps de bouger) et pas trop lente (pour que les valeurs diminuent assez vite lorsqu'il n'y a plus de musique par exemple).

La fonction printTabfréquence permet d'afficher les valeurs de tab sur la carte STM32.

5.2.2 Crédation des signaux PWM

Le principe

Dans ce projet, les aimants manipulés sont des électro-aimants dont les propriétés magnétiques augmentent avec la tension appliquée à leurs bornes. Ces aimants supportent une tension entre 0V et 12V. A 0V les aimants ne sont pas magnétiques, à 12V les aimants atteignent leur magnétisme maximal.

Nous utilisons donc des signaux PWM afin de modifier le niveau de magnétisme des aimants. En imposant un signal PWM avec un rapport cyclique α aux bornes d'un aimant, l'aimant percevra une tension de $12 * \alpha$. Pour fournir ces signaux, nous utilisons la carte STM32F746NG.

Dans cette partie, il s'agit donc de créer des signaux PWM qui sortiront de la carte et de modifier leur rapport cyclique afin de changer le magnétisme des aimants pour créer les motifs qui contrôleront le ferrofluide.

Création des signaux PWM :

Pour le prototype, nous souhaitons sortir de la carte STM32 5 signaux PWM pour commencer. Il sera possible de commander davantage d'électro-aimants à l'avenir. Pour cela, nous devons tout d'abord vérifier que la carte soit compatible avec le nombre et le type de sorties. Nous utilisons la documentation de la carte.[12]

Voici le tableau que nous trouvons concernant les pins de sortie de la carte :

Left connectors					Right connectors							
CN No.	Pin No.	Pin name	STM32 pin	Function	Function	STM32 pin	Pin name	Pin No.	CN No.			
CN6 power	1	NC	-	-	I2C1_SCL	PB8	D15	10	CN7 digital			
	2	IOREF	-	3.3V Ref	I2C1_SDA	PB9	D14	9				
	3	RESET	NRST	RESET	AVDD	-	AREF	8				
	4	+3V3	-	3.3V input/output	Ground	-	GND	7				
	5	+5V	-	5V output	SPI2_SCK	PI1	D13	6				
	6	GND	-	Ground	SPI2_MISO	PB14	D12	5				
	7	GND	-	Ground	TIM12_CH2, SPI2_MOSI	PB15	D11	4				
	8	VIN	-	Power input	TIM1_CH1	PA8	D10	3				
	-				TIM2_CH1	PA15	D9	2				
	-				-	PI2	D8	1				
CN5 analog	1	A0	PA0	ADC3_IN0	-	PI3	D7	8	CN4 digital			
	2	A1	PF10	ADC3_IN8	TIM12_CH1	PH6	D6	7				
	3	A2	PF9	ADC3_IN7	TIM5_CH4,SPI2_NSS	PI0	D5	6				
	4	A3	PF8	ADC3_IN6	-	PG7	D4	5				
	5	A4	PF7 or PB ⁽¹⁾	ADC3_IN5 (PF7) or I2C1_SDA (PB9)	TIM3_CH1	PB4	D3	4				
	6	A5	PF6 or PB8 ⁽¹⁾	ADC3_IN4 (PC0) or I2C1_SCL (PB8)	-	PG6	D2	3				
	-				USART6_TX	PC6	D1	2				
-				-				USART6_RX	PC7	D0	1	

FIGURE 5.6 – Table 5. ARDUINO connectors (CN4, CN5, CN6 and CN7)

La carte STM32F746NG procure des signaux PWM à l'aide de timers. Il existe des signaux PWM réels et des signaux PWM sans sortie réelle (no output). Nous avons à disposition 5 signaux PWM réels :

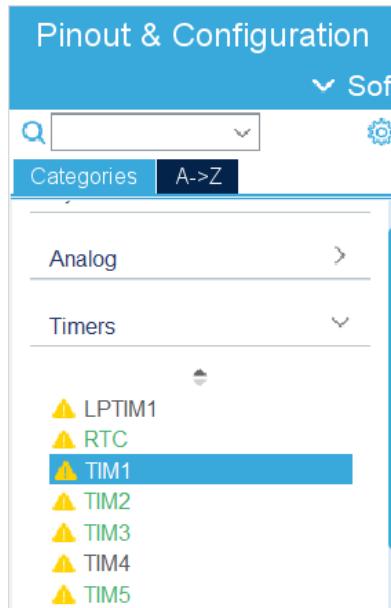
- magnet 1 : signal délivré par le timer 1 channel 1, relié à la pin de sortie D10 de la carte
- magnet 2 : signal délivré par le timer 2 channel 1, relié à la pin de sortie D9 de la carte
- magnet 3 : signal délivré par le timer 3 channel 1, relié à la pin de sortie D3 de la carte
- magnet 4 : signal délivré par le timer 12 channel 1, relié à la pin de sortie D6 de la carte
- magnet 5 : signal délivré par le timer 5 channel 4, relié à la pin de sortie D5 de la carte

Pour paramétrier ces signaux PWM sur la carte, nous utilisons l'IDE

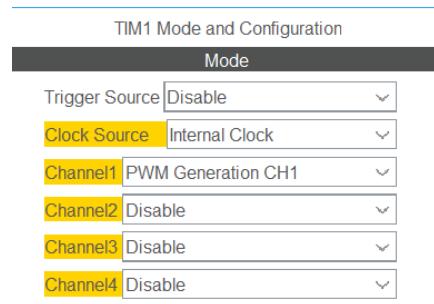
STM32CubeIDE version 1.7.0 . Après avoir ouvert le projet dans l'IDE, nous sommes prêts à paramétrier la carte.

Tout d'abord, dans le ".ioc" du projet, nous spécifions le type de sortie que nous souhaitons délivrer pour chacun des timers et des channels. Par exemple paramétrons le timer 1 channel 1.

Premièrement, nous allons dans "Pinout Configuration" et cliquons sur "TIM1" :

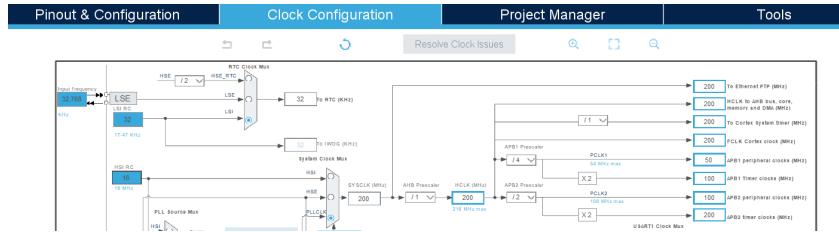


Ensuite, nous activons le timer 1 en sélectionnant "Internal Clock" comme Clock Source et nous sélectionnons "PWM Generation CH1" au niveau du Channel1 :

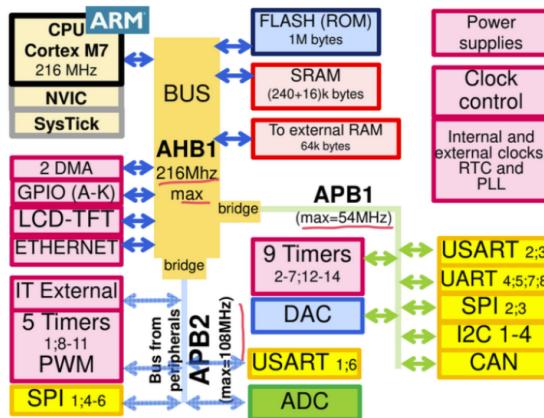


Il faut maintenant paramétrier les valeurs PSC et ARR pour du timer afin de sélectionner la fréquence du signal PWM que nous souhaitons en sortie.

Pour cela, nous regardons dans un premier temps la Clock Configuration de notre système :



Nous lisons que les timers liés au bus APB1 ont une fréquence de fAPB1TIMER = 100 MHz et les timers liées au bus APB2 ont une fréquence de fAPB2TIMER = 200MHz. Voici la carte des modules et des bus de la STM32F746NG :



Nous remarquons donc que le timer 1 est lié au bus APB2 et que les timers 2, 3, 5 et 12 sont liés au bus APB1.

Le timer 1 répond ainsi à l'équation suivante :

$$(ARR+1)(PSC+1) = \text{EndofCount} * f_{APB2\text{TIMER}}$$

et les autres timers que nous utilisons répondent à l'équation :

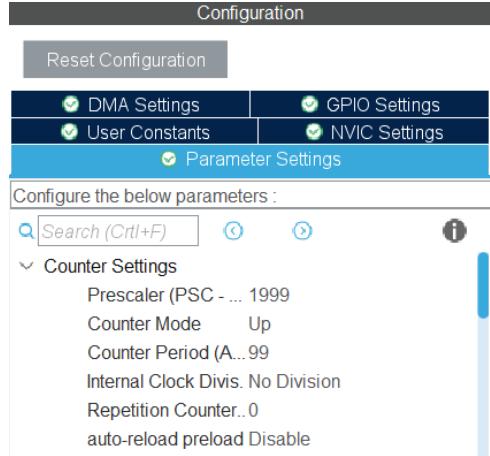
$$(ARR+1)(PSC+1) = \text{EndofCount} * f_{APB1\text{TIMER}}$$

Arbitrairement, nous souhaitons imposer la fréquence des signaux PWM à 1kHz. Nous souhaitons également que ARR soit égale à 99 pour une raison que nous expliquerons plus bas.

Nous voulons une fréquence de 1kHz, c'est à dire 1000 cycles par seconde. Ceci signifie qu'un cycle prend e-3 seconde à se terminer. Donc EndofCount = e-3 . Nous choisissons donc PSC = 1999 pour les timers de APB2 et

PSC = 999 pour les timers de APB1.

Voici donc le paramétrage du timer 1 :



Pour paramétrier un signal PWM, il faut également choisir un Pulse qui permet de choisir le rapport cyclique du signal qui vaudra alors $\text{Pulse}/(\text{ARR}+1)$.

Pour simplifier le paramétrage des signaux, nous souhaitons que Pulse fasse directement référence au rapport cyclique en terme de pourcentage. C'est pour cette raison que nous choisissons ARR = 99. Pour avoir un rapport cyclique de $\alpha\%$, il suffit de mettre $\text{Pulse} = \alpha$.

Voici donc le paramétrage de Pulse :

PWM Generation Channel 1	
Mode	PWM mode 1
Pulse (16 bits value)	50
Output compare prelo...	Enable
Fast Mode	Disable
CH Polarity	High
CH Idle State	Reset

Maintenant que le paramétrage a été fait, il faut activer réellement les timers. Pour cela, nous allons dans main.c et écrivons :

```
"HAL_TIM_PWM_Start(htim1,TIM_CHANNEL_1);"
```

au niveau de /* USER CODE BEGIN 2 */ ligne 215. Ceci doit être fait pour tous les timers et channel que nous utilisons.

Le paramétrage étant fait, nous pouvons maintenant coder les différents motifs qui régiront notre ferrofluide.

Création des motifs

Pour paramétriser les différents motifs, nous devons simplement modifier le magnétisme des aimants c'est-à-dire modifier leur Pulse. Plus un aimant sera magnétique (aura un Pulse élevé), plus il attirera le ferrofluide vers lui.

Pour cela, nous utilisons la ligne de commande :

"htimX.Instance ->CCR_Y = A"

afin d'obtenir un rapport cyclique A au niveau du signal PWM délivré par le canal Y du timer X.

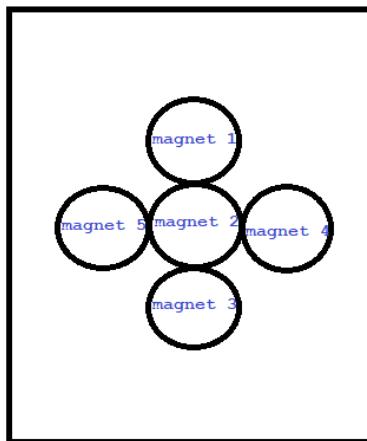
Pour ce projet, pour des raisons de compatibilité avec la partie traitement du signal, le code principal qui tourne en continu sera codé dans le fichier audio.c à partir de la ligne 376, au niveau de la fonction "static void processAudio(int16_t *out, int16_t *in)".

Les variables que nous créerons pour cette partie seront initialisées à partir de la ligne 320 du fichier audio.c. Leurs apparitions dans d'autres fichiers se feront grâce au mot clé "extern".

Pour la création de motifs, nous créons deux fichiers : magnet.h et magnet.c qui sont respectivement mis dans les dossiers Core >Inc et Core>Src.

Pour la démonstration technique du projet, nous souhaitons créer 7 figures. Pour cela, nous devons disposer les aimants d'une certaine manière afin de pouvoir paramétriser les bons signaux.

L'arrangement 1 est comme suit :

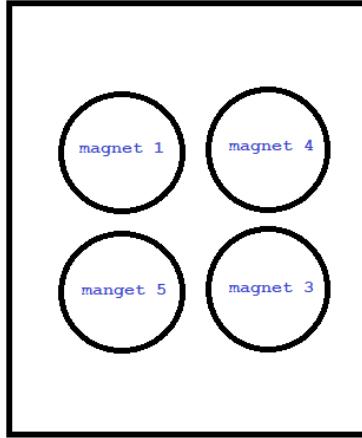


Avec cette disposition, nous souhaitons créer 5 figures :

- figure 0 : concentrer le ferrofluide au centre (magnet 2).
- figure 1 : faire monter le ferrofluide de magnet3 à magnet1
- figure 2 : faire descendre le ferrofluide de magnet 1 à magnet 3
- figure 3 : faire passer le ferrofluide de gauche à droite, de magnet 5 à magnet 4

— figure 4 : faire passer le ferrofluide de droite à gauche, de magnet 4 à magnet 5

Nous avons également l'arrangement 2 comme suit :



Avec cette disposition, nous souhaitons créer la figure5 qui consiste faire bouger le ferrofluide en forme de carré, passant du magnet 3 puis magnet4 puis magnet1 puis magnet 5 pour finir à nouveau au magnet 3.

La dernière figure, figure6, permet de faire réagir le ferrofluide (faire sauter le ferrofluide) en fonction des fréquences captées grâce au traitement du signal de la partie précédente. Cette figure doit faire réagir tous les aimants et ne dépend pas de la disposition choisie.

Pour faire les différents changements, nous travaillons sous forme d'étapes. Nous créons donc une variable StepFig qui indique à quelle étape de la figure sélectionnée le code en est.

Le code tournant en continu étant très rapide, pour que les changements des aimants (les steps) soient observables, nous créons la variable PulseTime. Cette variable joue le rôle de compteur et laisse le temps à chaque étape de bien s'opérer avant de passer à l'étape suivante de chaque figure. Son évolution est régie par la fonction ChangePulseTime(). Nous créons dans magnet.h la variable globale MaxPulseTime que nous mettons à 10 est qui détermine la valeur maximale de PulseTime. En changeant MaxPulseTime, nous changeons la vitesse d'exécution des étapes. Diminuer MaxPulseTime revient à accélérer chaque étape.

Afin de simplifier le changement de Pulse des aimants, nous créons la fonction "void SetPulse(int indice_aimant, int rapport_cyclique)" qui permet de changer le rapport cyclique de l'aimant d'indice indice_aimant à la valeur rapport_cyclique.

Pour déterminer quelle figure faut-il exécuter, nous créons la variable

Figure qui contient le numéro de figure qui doit être exécutée (numéro de 0 à 6).

Afin de ne pas perturber l'exécution d'une figure, nous créons la variable EnableChangeFig qui indique si le changement de figure est possible. Cette variable indique que le changement n'est pas possible lorsqu'une figure est en train de s'opérer. La mise à jour de EnableChangeFig se fait par la fonction ChangeEnable() et le changement de Figure se fait par la fonction ChangeFigure(int numero_figure) qui dépend de EnableChangeFig.

La création de chaque figure se fait par la création d'une fonction qui contrôle les différents pulse de chaque signaux PWM (Figure0(), Figure1() ... Figure6()).

Pour chaque figure créée, nous créons également une variable globale dans le fichier magnet.h MaxStepFigX qui, en le comparant à StepFig, permet de savoir si la figure X est terminée ou en cours d'exécution.

Enfin, afin d'exécuter les figures, il faut les appeler dans audio.c . Comme nous l'avons dit tout à l'heure, le code principal se fait dans la fonction "static void processAudio(int16_t *out, int16_t *in)" à partir de la ligne 375. Nous appelons les différentes fonctions grâce à la commande "switch case" évaluant la variable Figure.

Interface visuelle

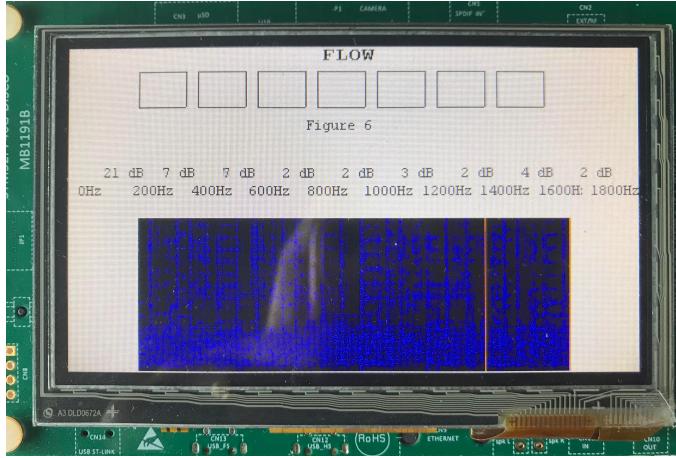
A présent que le code fonctionne, nous devons paramétrier l'interface de la stm32 afin de pouvoir commander les différentes figures directement via l'écran tactile. Pour cela, nous codons dans le fichier ui.c .

Le code de l'interface se trouve dans la fonction uiSliderDelay(), à partir de la ligne 93.

Nous créons 7 cases qui permettent de repérer les 7 figures codées. En cliquant sur la k-ième case, la case se colore en rouge et la variable Figure prend le numéro k, la figure k s'exécute alors.

Bien sûr, seule une case peut être colorée à la fois (une seule figure pouvant s'exécuter à la fois). Nous souhaitons également que tant qu'une figure est en cours d'exécution, il n'est pas possible de changer de figure (les boutons ne réagissent pas).

Suite au codage des cases, nous avons réussi à construire les cases et à les colorer en fonction de la figure choisie.



Cependant, nous remarquons que les boutons réagissent toujours, même lorsqu'une figure est en cours d'exécution.

Afin de vérifier que les signaux se modifient bien en fonction des commandes que nous exécutons, nous utilisons un oscilloscope relié aux pins de sortie de la carte STM32 et nous vérifions les rapports cycliques des signaux que nous observons sur la machine.

Nous remarquons que lorsque nous sélectionnons une figure, le compteur de pas StepFig ne se réinitialise pas. La figure que nous avons sélectionnée via l'écran tactile est bien modifiée mais le code n'exécute pas la figure entièrement mais montre seulement l'étape finale de la figure sélectionnée.

Pourtant, en modifiant la variable Figure à la main, c'est-à-dire directement sur le code et en réexécutant le projet, le signal observé à l'oscilloscope représente bien la figure entièrement exécutée.

Ceci représente un point à améliorer.

5.3 Hardware

Tous les fichiers réalisés, notamment sous Eagle, lors de cette étape sont retrouvables sur notre GitHub.

5.3.1 Recherche d'un circuit électronique pour alimenter les électro-aimants et les piloter avec les signaux PWM.

Dans la partie hardware, l'objectif est de créer un PCB afin de relier les informations transmises par les signaux pour piloter les électro-aimants. Nous avons fait le choix de piloter cinq électro-aimants pour commencer donc le circuit sera dupliqué par cinq.

Les électro-aimants sont alimentés par une tension nominale de 12V. Cette tension est très importante et doit être prise en compte afin de ne pas

endommager le solénoïde. La référence de nos électro-aimants est 27 19 et ils ont été commandés par l'ENSEA. Pour appliquer le courant de commande, il faut bien respecter le brochage, l'une pour la masse GND et l'autre pour appliquer le courant de commande.

Voici le montage électronique pour commander l'électro-aimant à partir du signal PWM :

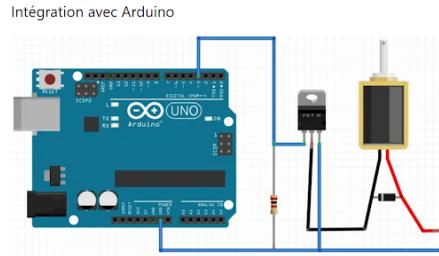


FIGURE 5.7 – Montage électronique pour piloter un électro-aimant à partir d'un signal PWM

Sur le circuit électronique on retrouve trois autres composants. En effet il y a la présence d'une diode de roue libre qui est connectée en parallèle sur le brochage de l'électro-aimant. La référence de la diode est 1N5061. Cette diode a été choisi de façon à respecter les signaux PWM qui varient entre 0V et 3,3V. La tension de seuil de cette diode est bien comprise dans cette plage de tension.

La présence de la diode de roue libre protège également le transistor de l'inévitable surtension qui apparaît lorsque l'on cesse d'alimenter l'électro-aimant.

La présence du transistor amène deux choses :

- elle permet l'alimentation 12V pour l'électro-aimant à partir d'une tension à 3,3 V.
 - elle garantit à l'électro-aimant un courant suffisamment grand qui lui permet de travailler avec la force nécessaire pour déplacer le ferrofluide.
- Le courant circulant dans le circuit électronique est de l'ordre de 100mA pour une alimentation sous 12V.

Le transistor choisi est le transistor SI2300DS.

Enfin on inclut également une résistance de 2 kOhms pour le bon fonctionnement du circuit.

Ce circuit est bien duplicable pour commander plusieurs électro-aimants.

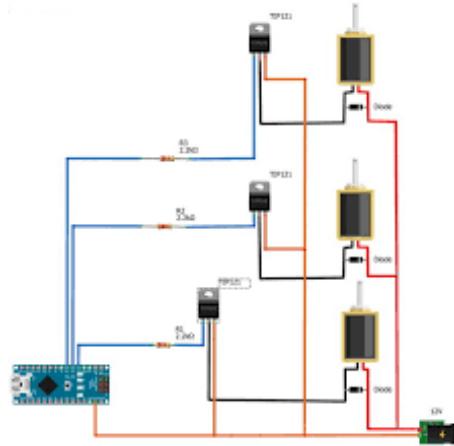


FIGURE 5.8 – Montage électronique pour piloter trois électro-aimants à partir de signaux PWM

5.3.2 Schematic du PCB sur le logiciel Eagle

Pour réaliser le PCB qui permet de relier le software à la partie hardware pour commander le ferrofluide, on s'appuie sur le logiciel Eagle. On réalise donc le schematic suivant avec les bonnes références des composants.

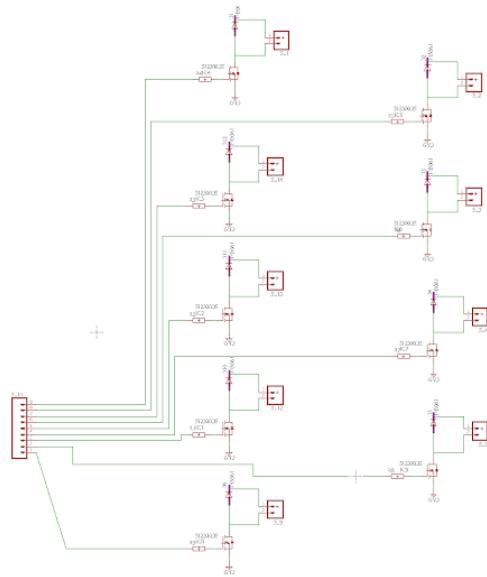


FIGURE 5.9 – Schematic du PCB sous Eagle

Nous faisons le choix d'utiliser des connecteurs de pins mâles pour brancher les électro-aimants et les signaux PWM.

5.3.3 Board et routage sur le logiciel Eagle

Pour la partie routage, il a été difficile de le faire sur un seul niveau, nous avons donc fait le choix de le réaliser sur deux niveaux : Top et Bottom. De ce fait il faut faire attention à bien réaliser deux plans de masse, un sur chaque niveau. Hormis les transistors, nos composants électroniques (résistances, diodes et pins) sont des composants traversants. Par conséquent, pour le bon fonctionnement des commandes des électro-aimants, il est impératif que les liaisons qui rejoignent SL10 soient au Bottom. Si elles sont au niveau Top, les liaisons ne seront pas correctement reliées aux électro-aimants. C'est pour cette raison qu'il a été difficile de réaliser le routage sur un seul niveau.

Voici le routage réalisé pour le PCB de notre projet :

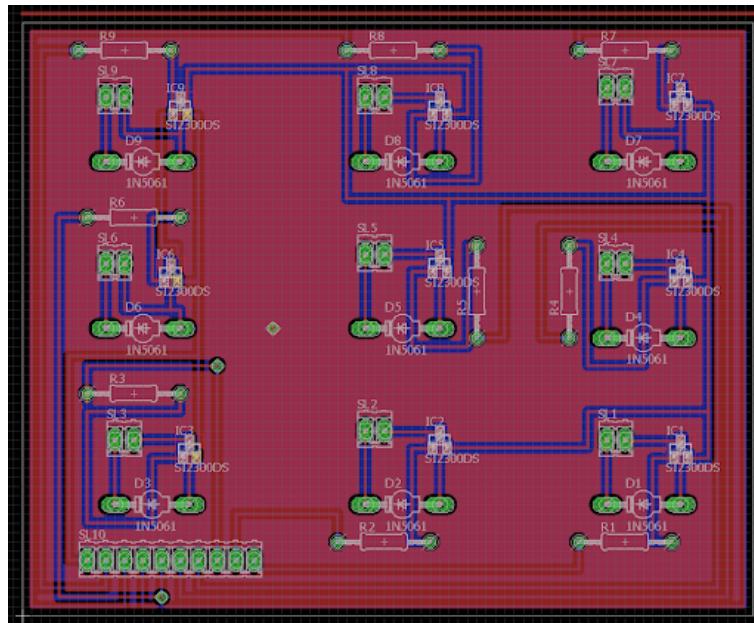


FIGURE 5.10 – Routage du PCB

Chapitre 6

Prototype

6.1 Construction du récipient

La construction du récipient est une étape très importante. En effet, pour des raisons de sécurité évidentes, le contenant doit être parfaitement hermétique et surtout étanche. De plus, comme vu lors des expériences, le récipient doit être le plus propre possible pour que le ferrofluide n'adhère pas à la paroi.

6.1.1 Découpe du verre

Flow est un écran géant à ferrofluide. Il nous a donc fallu créer un récipient qui soit assez fin : comme un écran creux. Pour cela, nous avons été récupérer des chutes de verre à Bricomarché. Nous avons dû ensuite les découper suivant la taille que nous voulions pour notre écran.

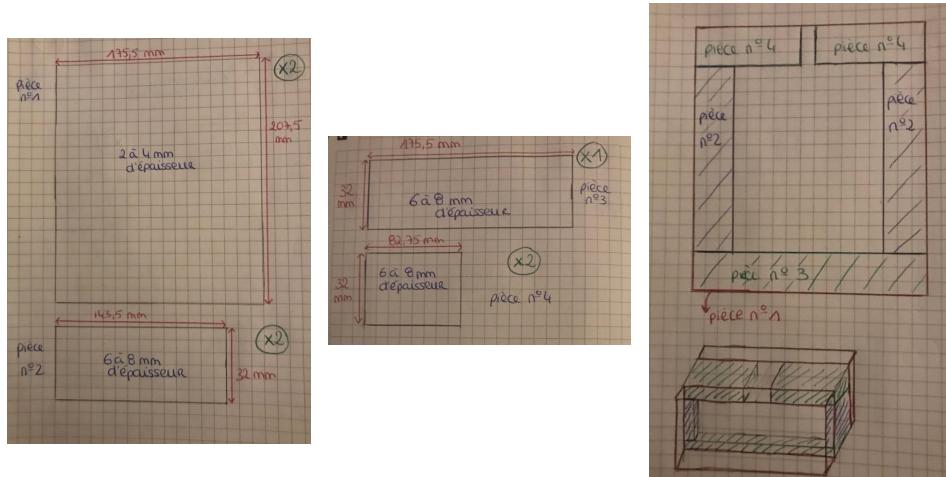


FIGURE 6.1 – Plans du découpage du verre

La découpe du verre n'est pas du tout quelque chose de facile. Plus le verre est épais et plus il nous a été difficile de le couper. C'est pourquoi sur notre récipient final nous pourrons voir que les bords ne sont pas très droit.

Nous avons tout d'abord tracé à l'aide d'un feutre vert et d'une règle, les dimensions que nous voulions pour notre morceau de verre.



FIGURE 6.2 – Traçage des dimensions sur le verre

Le verre se coupe à l'aide d'un bon diamant que l'on trempe dans un peu de pétrole pour qu'il glisse mieux. Ensuite lorsque nous avons rayé le verre, il nous suffit de la casser en deux. Si le travail a bien été fait, alors le verre devrait se briser pile sur le trait que vous avez réalisé avec votre diamant.



FIGURE 6.3 – Découpage à l'aide d'un diamant

6.1.2 Assemblage

Nous avons assemblé les différents morceaux à l'aide d'une colle à époxy. Celle-ci nous permettrait de garantir une étanchéité.



FIGURE 6.4 – Assemblage du récipients

Toutefois, la colle n'était pas facile à étaler. Nous n'avons pas dû bien nous y prendre. Il y a donc la présence de pleins de bulles d'air qui vont nous porter préjudice par la suite.

6.1.3 Test d'étanchéité

Notre récipient n'était pas étanche. Cela provient du fait que nous n'avions probablement pas bien mis la colle. En effet, en regardant notre récipient, on peut voir des bulles d'air dans la colle. Ce sont par ces bulles que l'eau s'infiltra et donc que notre récipient fuit.

Pour pallier à ce problème et par manque de temps pour tout recommencer, nous avons entouré notre récipient de joint en silicone. Cette fois-ci notre récipient est étanche.

6.1.4 Ajout du ferrofluide

Nous avons donc rajouté le ferrofluide en suivant les mêmes étapes que celles précédemment faites dans les expériences. Nous avons donc laissé reposer pendant quelques jours du vinaigre, puis notre solution de saumure (eau saturée en sel kosher) et enfin nous avons ajouté notre ferrofluide bouillit à notre récipient.

Cependant le ferrofluide laisse des traces sur la paroi. Cela peut s'expliquer par plusieurs phénomènes :

- Tout d'abord, les parois présentaient des traces de colle à époxy. N'étant pas complètement propre, le ferrofluide a tendance à s'accrocher aux impuretés.
- Mais nous pensons que la principale raison est que nos deux parois sont trop proches. Lors de l'introduction du ferrofluide, celui vient directement toucher les bords de la paroi. De plus, on remarque que lorsque l'on déplace le ferrofluide à l'aide d'un aimant, les deux cotés du verre compresse le ferrofluide ce qui accentue le fait qu'il colle.
- Pour finir, nous avons remarqué que plus le ferrofluide restait dans le récipient bien scellé et hermétique, moins il collait. Or, notre récipient était bien trop nouveau pour pouvoir servir lors de la présentation.

C'est pourquoi lors de la présentation finale, nous avons décidé de prendre l'rlenmeyer réalisé lors de nos expériences.

6.2 Modélisation du support

Nous avons réalisé une modèle 3D pour un support de notre récipient. Nous avons utilisé le logiciel Autodesk Fusion 360 pour réaliser une maquette 3D que nous pouvions envoyer à l'impression. Par manque de temps, nous n'avons malheureusement pas pu l'imprimer.

La partie trouée avec des ronds sont les différents emplacements des électro-aimants, avec un trou pour laisser passer leurs fils. De plus, il y a deux encoches à l'avant pour pouvoir glisser le récipient dedans. La partie trouée est en liaison glissière avec le support fixe pour qu'ils soient plus facile de placer/remplacer les différents électro-aimants.

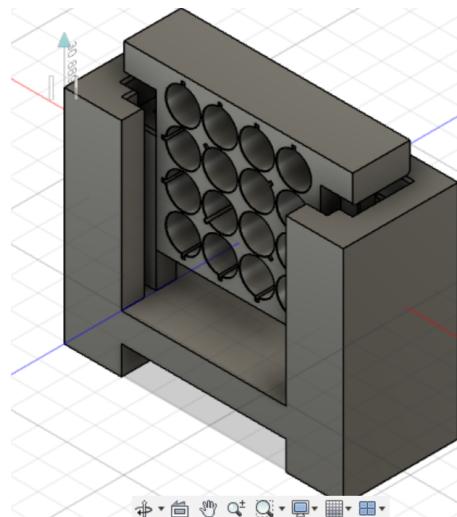


FIGURE 6.5 – Support vue de face

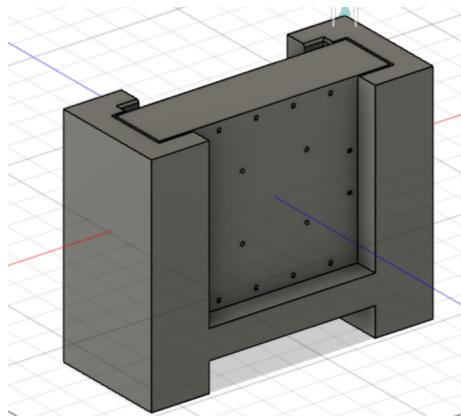


FIGURE 6.6 – Support vue de dos

Vous pouvez retrouver le fichier Autodesk du support sur notre GitHub.

6.3 Démonstration finale

Nous avons finalement pu faire une démonstration finale le mardi 12 avril.



FIGURE 6.7 – Démonstration finale

Vous pouvez retrouver l'intégralité de nos vidéos sur notre GitHub.

Chapitre 7

Amélioration futur du projet

7.1 Conception du récipient

Comme vu lors du chapitre précédent, la largeur du récipient était trop fine. Si nous devions refaire un récipient, nous le ferions 2 mm plus large pour que le ferrofluide puisse se déplacer en toute liberté. Cela nous permettrait notamment lors de la dépose du ferrofluide, de ne pas coller au paroi et de pouvoir le déposer plus simplement.

En effet, nous avons vu lors du protocole de l'expérience, qu'il était important de bien immerger la pipette de ferrofluide sans toucher les bords. Avec une paroi plus large, l'accès pour déposer le ferrofluide serait plus simple.

De plus, notre problème d'étanchéité de notre récipient provenait de la dépose de la colle. Nous essayerons de voir une autre méthode pour poser la colle sans bulle d'air. En effet, nous avons remarqué lors de nos diverses expériences qu'il fallait que la colle soit posée de manière homogène afin qu'il n'y ait aucune fuite.

Nous ferions plus attention aux traces de colle qui ont pu nous poser problème aussi. En effet, nous avons compris lors de ces expériences que le temps et la propreté étaient les maîtres mots pour concevoir un contenant à ferrofluide qui n'adhère pas.

7.2 Traitements du signal

Pour la partie Traitements du signal, nous pouvons suggérer plusieurs améliorations pour continuer notre projet :

- L'enregistrement du son via un micro présente plusieurs inconvénients. On a mentionné le bruit continu qui intervient naturellement. Notre produit est proposé à des salles de concert, les spectateurs chantent et font

- du bruit. L'enregistrement de la musique par un microphone risque d'être modifié par le bruit provenant du public. On privilégiera un enregistrement de la musique en temps réel par la prise Jack de la carte (par exemple utiliser un microphone qui filtre le bruit parasite).
- La deuxième version (Alternative par intervalle) a ses limites : elle effectue la moyenne par intervalle. Une musique de spectacle sollicite toutes les fréquences mais dans des proportions différentes. La méthode fonctionne pour des sons avec des instruments, qui font appel à toutes les fréquences (les musiques de fêtes par exemple). Pour des musiques qui n'utilisent que peu de fréquences (Musique à capela, sifflement, son pur), la moyenne de la FFT sur les intervalles de fréquences sera toujours faible. En effet, même si les valeurs de FFT en certaines fréquences sont élevées, comme les autres sont nulles, la moyenne le sera aussi.

En conclusion, pour améliorer la caractérisation du signal d'entrée, il faudrait revenir à une implémentation par fréquence (et non plus uniquement le fondamental) en utilisant la ligne jack.

De plus, au niveau de la création des signaux PWM, il y a deux améliorations majeures à apporter.

Tout d'abord, la carte STM32F746NG ne délivre que 5 signaux PWM avec des sorties réelles. Elle peut également délivrer jusqu'à 27 signaux PWM sans sortie. Pour pouvoir exploiter ces sorties, il faut jouer avec les pins de sortie disponibles de la carte ainsi que sur les interruptions des timers. Ceci nous permettrait de contrôler plus d'aimants et donc de faire des figures plus complexes et précises.

La deuxième amélioration à apporter se trouve au niveau de l'interface de la STM32. Les boutons que nous avons créés n'exécutent pas les figures comme nous le voudrions. Il s'agit d'un bug qu'il faut résoudre.

La dernière amélioration est bien évidemment la création de plusieurs figures. Nous avons choisi de coder seulement 7 figures afin de faire exécuter au ferrofluide des mouvements élémentaires. Bien évidemment, en combinant ces mouvements élémentaires avec de nouvelles figures, les possibilités du ferrofluide sont infinies.

7.3 Hardware

Suite à l'assemblage des signaux PWM ainsi que l'alimentation de 12V des électro-aimants sur le PCB, nous observons beaucoup de fils pour cinq électro-aimants. En effet, voici une image du montage pour un seul électro-aimant :

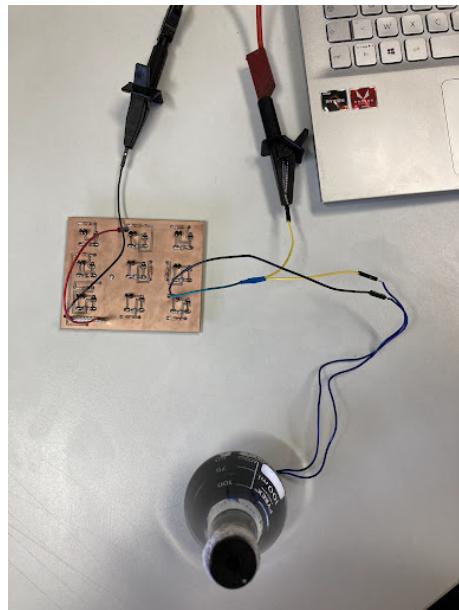


FIGURE 7.1 – Branchement d'un seul électro-aimant avec le PCB

Afin de réduire le nombre de fils dans notre assemblage, une idée serait d'utiliser un bornier avec deux pôles pour alimenter toute la carte en 12 V. Ainsi nous pouvons optimiser l'espace des fils dans notre assemblage.

Voici une image d'un bornier qui pourrait être utilisé dans notre projet :



FIGURE 7.2 – Bornier

Chapitre 8

Retour sur expérience

8.1 Point de vue de Maëlle

J'ai été très frustrée par nos premières séances de projet. J'étais arrivée avec un projet qui pour moi était digne d'une révolution. Cependant, on m'a très vite fait comprendre que le projet ne tenait pas debout. En effet, je retiendrais toujours la phrase de mon professeur encadrant, M. Barès, qui m'a dit : "qu'est-ce qui m'empêche demain de sortir votre projet mais en mieux ?".

Les trois premiers mois sont donc passés très vite. Je n'avais pas l'impression d'avancer plus que ça. Ce projet m'a donc appris à quel point la phase de conception du besoin était importante. Plusieurs fois, notre projet a évolué à force de se poser des questions. Et de ce qui ne devait être qu'un simple pendule pour enfants nous en sommes venus à un instrument de musique visuel immense à mettre dans une salle de concert.

Ensuite, nous nous sommes un peu perdus. Du moins, c'est le sentiment que j'ai eu. Une fois que notre idée était bien ficelée, il fallait commencer quelque part. Nous avons donc réalisé beaucoup de recherches, certaines que l'on utilise même plus aujourd'hui. Je suis un peu déçue du temps que l'on a passé sur certaines choses qui au final ne sont plus utiles dans ce projet.

Je pense que nous avons manqué de planification. Et surtout, au début, nous avons manqué d'un vrai leader et d'un manque de communication dans notre travail en équipe. En effet, pendant plusieurs semaines, je me suis retrouvée à courir à droite et à gauche pour faire le travail d'un groupe de 4 personnes à moi toute seule. J'avais l'impression que les autres ne bougeaient pas ou en tout cas pas beaucoup. Je ne me sentais pas légitime de leur donner des "ordres" car j'étais au même niveau qu'eux. C'est là où je pense que j'ai le plus appris de mon erreur. Nous étions dans un cercle vicieux où mes coéquipiers attendaient que je leur dise quoi faire et moi qui attendait de leur part qu'ils sachent quoi faire ou qu'ils me le demandent.

Finalement, ce n'est que lors des deux dernières semaines que nous

avons réussi à nous coordonner complètement. Ce projet m'aura beaucoup appris : tant au niveau de la conception d'un nouveau produit que celle d'un travail en équipe réussi.

8.2 Point de vue de Valentine

Ce projet entrepreunariat fut une expérience inédite qui marque et me donne un avant goût de ce qu'est le monde professionnel auquel je devrai faire face très prochainement.

Durant un an, nous avons travaillé tous les quatre dans une optique de création d'entreprise. Cet exercice s'est avéré plus complexe que l'idée que je m'en faisais. J'ai appris que monter une entreprise n'était pas une tâche aisée et qu'il fallait une étude sérieuse et approfondie sur le concept que nous souhaitons lancer avant d'y investir réellement notre énergie, notre temps et notre argent. Je pense que l'un des plus gros obstacles auquel j'ai dû faire face fût le manque de repère. Le concept que nous souhaitions mettre en place se précisant au fur et à mesure que le projet avance, il a fallu à chaque fois s'adapter aux changements voire revenir sur certaines décisions précédemment prises.

J'ai également pu réaliser plus que jamais l'importance du travail d'équipe, surtout vis-à-vis de la cohésion aussi bien au niveau de l'ambiance générale que dans la cohérence des différentes parties techniques. La communication est également nécessaire afin d'harmoniser et de comprendre la perception de tous les membres. Globalement, je pense que ce projet m'a apporté plus de doutes que de confiance vis-à-vis de cet univers professionnel

8.3 Point de vue de Jimmy

Contrairement aux autres projets que l'on aurait pu faire, le projet entrepreunariat nous a permis de donner du sens à ce qu'est un projet de 2A. Pendant que les autres groupes amorcent leur projet dont le sujet est déjà établi, nous réfléchissons de notre côté à un problème et à sa résolution. Cela nous a pris 3 mois, ce qui est assez frustrant lorsque l'on sait que la deadline est fin avril. Cependant, je trouve cet exercice enrichissant car nous prenons du recul notamment avec l'utilisation des différents outils de management de projet, l'établissement d'un contexte réel et surtout avec un but de le commercialiser.

Lorsque cette phase cognitive est aboutie, je trouve que le plus dur est passé. Pendant la phase de conception, le plus difficile a sûrement été la mise en commun du travail des 4 membres du groupes. De mon côté avec le codage sur STM32, le plus compliqué n'aura pas été le code en lui même mais l'utilisation de la documentation pour activer les bonnes fonctionnalités de la carte.

8.4 Point de vue de Anne

Lors des premières séances sur la conception du projet, Monsieur Barès et Monsieur Reynal ont très rapidement remis en question le projet sur lequel Maëlle et moi avons voulu travailler, à savoir une veilleuse pour enfant. Le premier mois a été très dur à digérer face aux multiples remarques de nos encadrants. En effet ce n'est jamais agréable d'accepter un autre point de vue lorsqu'on est déjà lancés dans une idée. Mais aujourd'hui avec le recul, je me dis que si on a eu autant de retours sur notre projet initial, c'est parce qu'on est partis d'une idée très précise. En se remettant en question, nous en sommes arrivés à la finalité que notre souhait était surtout de découvrir les propriétés physiques et chimiques du ferrofluide. Et si vous avez réussi à lire tout le rapport, vous avez dû comprendre que nous avons réussi à faire bouger un ferrofluide grâce à la présence d'une musique.

Malheureusement l'ENSEA ne possède pas de salle de chimie donc l'étude du ferrofluide a été un véritable casse tête, et cela, dès le moment pour s'en procurer. La conception m'a perdue dans l'objectif de notre projet. En effet, j'ai mis beaucoup de temps pour trouver ma place dans ce projet. Au début je souhaitais surtout m'occuper de la partie entreprenariale car c'était la raison pour laquelle j'avais rejoint ce groupe. Mais avec les différentes possibilités que proposait le ferrofluide et son utilité dans le domaine musical, je suis devenue passive dans le projet. J'ai pris du temps à entrer dans le projet.

C'est seulement lors de la partie fabrication que j'ai eu le rôle hardward dans la production d'un circuit électronique pour réaliser un PCB. Grâce à la gentillesse de Madame Kittel, j'ai réussi à relier le travail de mes coéquipiers, Valentine et Jimmy-Antoine, sur la partie software et le travail de Maelle sur la partie physique de ferrofluide.

Ce projet a révélé à quel point il a été difficile pour moi de me faire confiance dans le domaine scientifique. Ce projet m'a également fait comprendre que je ne sais pas comment choisir des composants comme une diode de roue libre, que je ne sais pas souder comme il faut un transistor CMS car j'ai fait plein de court-circuits. Et si j'avais branché la carte, tout aurait cramé. Mais cela n'est pas arrivé grâce à l'aide des techniciens de l'école. C'est pourquoi je souhaite remercier chaleureusement Madame Kittel pour toute la patience qu'elle a eu auprès des étudiants de l'ENSEA, car sans elle, je n'aurais pas réussi à remplir ma mission auprès de mon équipe et de mes encadrants. Ce projet m'a donc appris à oser demander de l'aide plutôt que de m'effacer.

8.5 Conclusion et remerciements

Le projet électronique a été réalisé dans l'enceinte de l'ENSEA, à Cergy-Pontoise. Nous tenons tout d'abord à remercier l'équipe administrative de nous permettre d'étudier dans de bonnes conditions et de nous mettre à disposition le matériel pour réaliser nos projets.

Nous tenons à remercier Delphine Talbot, chercheuse du laboratoire PHENIX de l'université de la Sorbonne à Paris, qui nous a aidé dans les propriétés du ferrofluide et qui a accepté de nous offrir des échantillons de ferrofluide qui ne collent pas à la paroi pour avancer sur la partie physique de ferrofluide.

Nous adressons des remerciements aux employés de Bricomarché pour leur soutien dans notre projet, sans eux nous n'aurions pas pu trouver du verre pour fabriquer le récipient.

Nous remercions également les techniciens de l'ENSEA qui ont imprimé très rapidement notre circuit électrique. Merci à Madame Kittel qui nous a accompagné dans le choix des composants et la relecture du routage sur Eagle.

Un grand merci à Madame Kittel et Monsieur Béguin qui nous ont aidé à vérifier les soudures et à ne pas faire cramer le précieux PCB.

Enfin merci à nos encadrants, Monsieur Barès et Monsieur Reynal, qui nous ont accompagné tout au long de l'année scolaire et qui nous ont permis d'aboutir à ce projet. Merci également à eux d'avoir invité des professeurs pour partager notre prototype et d'avoir un retour extérieur.

Bibliographie

- [1] A. FOUACHE O. HOUMANE M. KINZIGER R. MARCHI MEKARI et A. SLEIMAN C. AZZAM, S. BOUTROS. Ferrofluide : un liquide attirant. *Olympiades de Physique France*.
- [2] Wahid Chrief. Etude des ferrofluides et de leurs applications à l'intensification des transferts de chaleur par convection forcée. *HAL*, 7 août 2006.
- [3] Basement Gang. When the song hits but you don't know what they're saying.
- [4] Ph.D Jane Framingham. Rorschach inkblot test. *Scientific Advisory Board*, 17 mai 2016.
- [5] Dakd Jung. Burnslap studio.
- [6] Dakd Jung. Ferrofluid display cell bluetooth speaker.
- [7] lalalapiano Caroline Chevalier. Série de six vidéos 'panio emotion'.
- [8] Olivier Lamm. Adele vs spotify : une victoire dérisoire. *Libération*, 22 novembre 2021.
- [9] Amanda London. River flows in you by yiruma. *Song Meanings and facts*, 19 november 2020.
- [10] rogercarr. Really beautiful swimming ferrofluids. *instructables*, 2016.
- [11] MEL Science. How to make ferrofluid with printer toner at home (a full tutorial).
- [12] STMicroelectronics. Discovery kit for stm32f7 series with stm32f746ng mcu. 2020.
- [13] Supermagnete. Ferrofluide de 10 ml.
- [14] Léopold Tobisch. Voir la musique... que sont la synesthésie et la chromesthésie ? *France musique*, 23 novembre 2018.