



**flow**  
**L'esprit de ton âme.**

## Rapport Technique - Flow

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

Janvier 2022

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Etude du besoin</b>	<b>6</b>
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
<b>3</b>	<b>Business plan</b>	<b>12</b>
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
<b>4</b>	<b>Plannification du projet</b>	<b>16</b>
4.1	Découpage du projet . . . . .	16
4.1.1	Diagramme OBS . . . . .	16
4.1.2	Diagramme des responsabilités RACI . . . . .	16
4.2	Plannification à l'aide du cahier des charges . . . . .	16
4.2.1	Diagramme de PERT . . . . .	16
4.2.2	Diagramme de GANTT . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Etude théorique</b>	<b>17</b>
5.1	Théorie de la musique . . . . .	17
5.1.1	Musique et émotion . . . . .	17
5.1.2	Théorie du microphone . . . . .	21

5.2	Théorie du ferrofluide . . . . .	24
5.2.1	Qu'est-ce que le ferrofluide ? . . . . .	24
5.2.2	Propriétés magnétiques . . . . .	24
5.2.3	Générateurs de champs magnétiques . . . . .	26
<b>6</b>	<b>Partie expérimentale</b>	<b>27</b>
6.1	Fournisseurs de ferrofluide . . . . .	27
6.1.1	Première commande chez Supermagnete . . . . .	27
6.1.2	Recherche d'un fournisseur à plus grande échelle . . . . .	27
6.2	Essais . . . . .	27
6.2.1	Expérience pour faire le ferrofluide nous-même . . . . .	27
6.2.2	Test dans de l'eau minérale . . . . .	27
6.2.3	Test dans de l'eau minérale salée . . . . .	28
6.2.4	Test de l'adhésion du ferrofluide sur la paroi . . . . .	28
6.2.5	Test dans de l'eau minérale saturée en sel casher . . . . .	28
<b>7</b>	<b>Résultats</b>	<b>30</b>
7.1	Section 1 . . . . .	30
7.1.1	Sous-section 1 . . . . .	30
7.1.2	Sous-section 2 . . . . .	30
7.2	Section 2 . . . . .	30
7.2.1	Sous-section 1 . . . . .	30
7.2.2	Sous-section 2 . . . . .	30
7.2.3	Sous-section 3 . . . . .	30
<b>8</b>	<b>Amélioration futur du projet</b>	<b>31</b>
8.1	Section 1 . . . . .	31
8.1.1	Sous-section 1 . . . . .	31
8.1.2	Sous-section 2 . . . . .	31
8.2	Section 2 . . . . .	31
8.2.1	Sous-section 1 . . . . .	31
8.2.2	Sous-section 2 . . . . .	31
8.2.3	Sous-section 3 . . . . .	31
<b>9</b>	<b>Remerciements</b>	<b>32</b>

# 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.

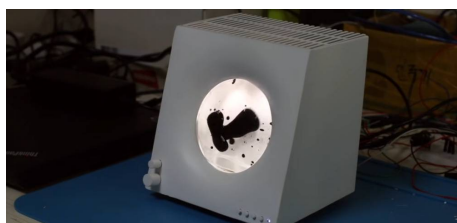


FIGURE 1.1 – Oeuvres d'art de DAKD Jung : Enceinte à ferrofluide



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 oeuvres, 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'encres" 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.

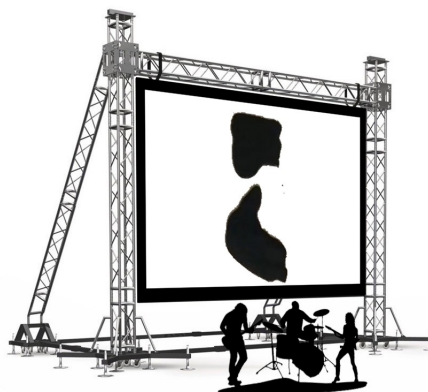


FIGURE 1.3 – Flow : instrument de musique visuel

### 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 écoutées

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.

## 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 oeuvres.
- 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-

interprétation 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 ?

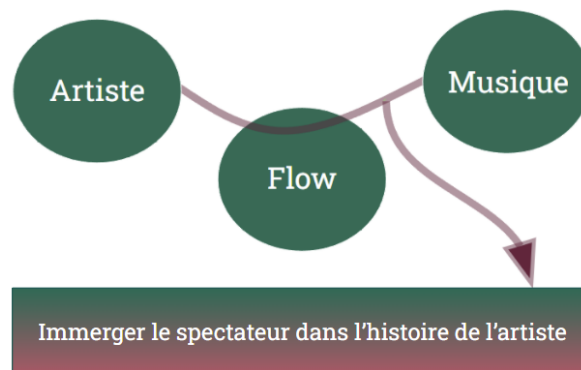


FIGURE 2.1 – Diagramme bête à corne de Flow



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.

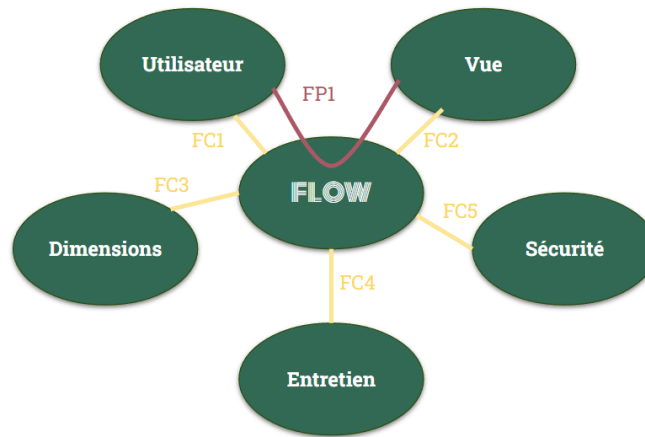


FIGURE 2.2 – Diagramme pieuvre de Flow

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 prestation*
  - *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.

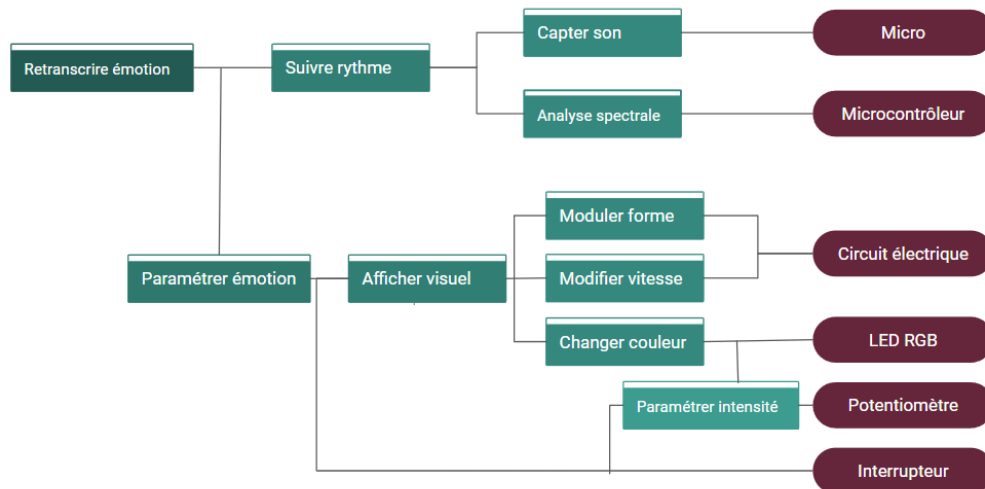


FIGURE 2.3 – Diagramme FAST de Flow

## 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[11]. 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 et 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 soutiennent 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 performant, nos clients cibles sont les propriétaires de salles de concerts, boîtes de nuit, organisateur de grands événements 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 événements 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 événements 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 événements 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 ferro-fluide, l'aspect atypique et intrigant 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 pensée 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 événements afin de les rassembler par la suite sur nos réseaux et notre site internet.



## Chapitre 4

# Plannification du projet

### 4.1 Découpage du projet

#### 4.1.1 Diagramme OBS

#### 4.1.2 Diagramme des responsabilités RACI

### 4.2 Plannification à l'aide du cahier des charges

#### 4.2.1 Diagramme de PERT

#### 4.2.2 Diagramme de GANTT

## Chapitre 5

# Etude théorique

### 5.1 Théorie de la musique

#### 5.1.1 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		4 temps *
La blanche		2 temps
La noire		1 temps
La croche		1/2 temps
La double croche		1/4 temps
La triple croche		1/8 temps
La quadruple croche		1/16 temps

FIGURE 5.1 – [www.theoriedelamusique.com](http://www.theoriedelamusique.com) : les figures de notes








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

FIGURE 5.2 – [www.theoriedelamusique.com](http://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 égaux :

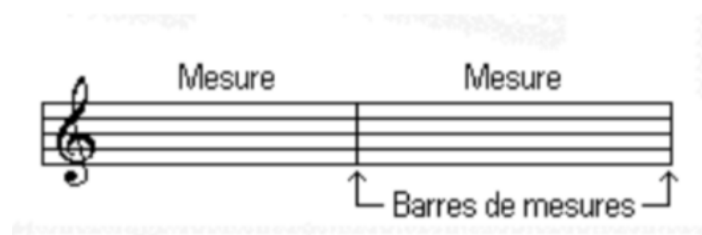


FIGURE 5.3 – Barre de mesure d'une partition

- La valeur des notes ou des silences

Appliquons cette théorie à la partition suivante :

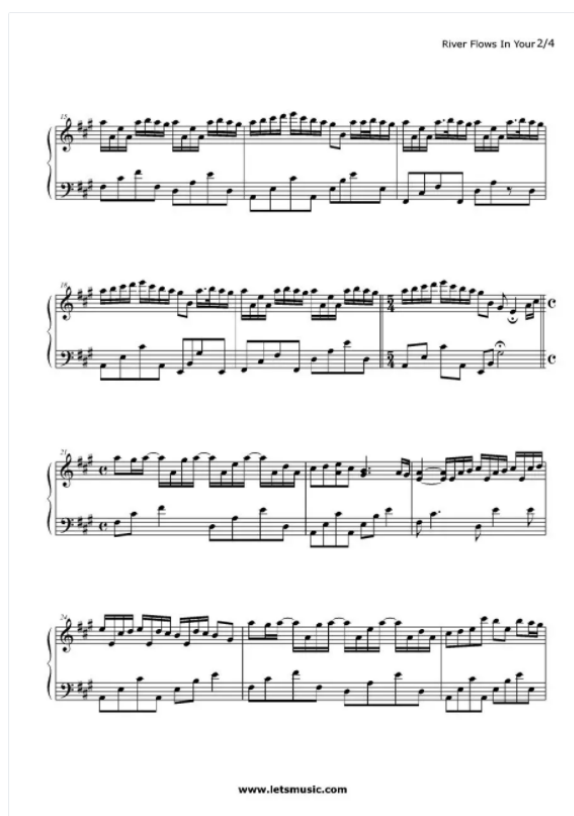


FIGURE 5.4 – [www.letsmusic.com](http://www.letsmusic.com) : extrait de la partition de piano de *River flows in you* par Yiruma

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 conscient 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 résolubilité 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 Yoa-sobi. L’écoute de la musique sans prêter attention aux paroles déclenche un sentiment énergétique et joyeux. La preuve en est, une trend 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.

### 5.1.2 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 :

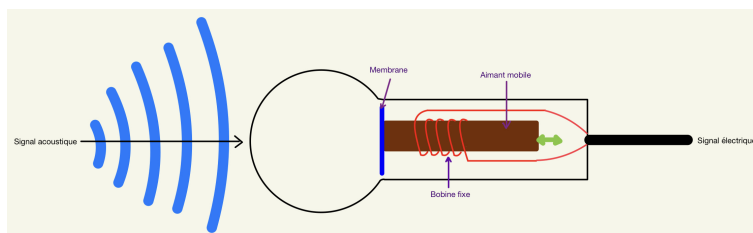


FIGURE 5.5 – Schéma interne d’un microphone dynamique

Le son est une onde mécanique qui comprime et décompresse 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 :

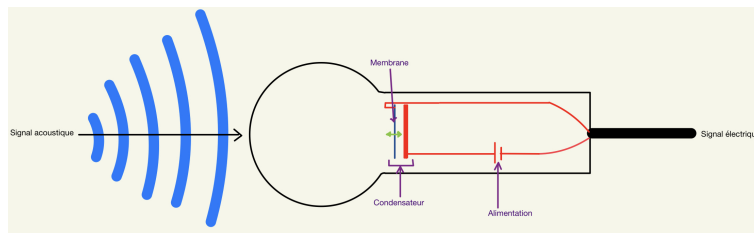


FIGURE 5.6 – Schéma interne d'un microphone statique

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

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

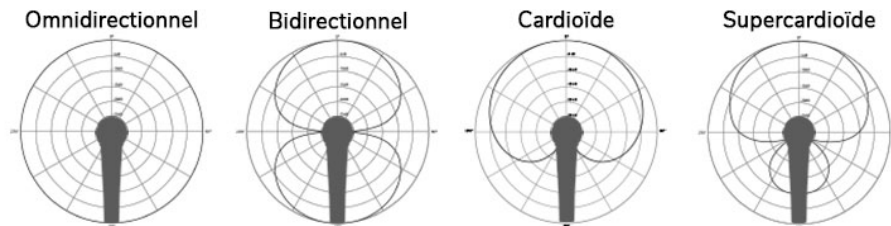


FIGURE 5.7 – Les différentes directivités d'un microphone

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  $360^\circ$ ).
- 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.

## 5.2 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.

### 5.2.1 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 thermique) 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.

### 5.2.2 Propriétés magnétiques

Le ferrofluide[10] que nous utilisons a les propriétés suivantes :

Propriétés physiques	Unité SI
Apparence	liquide noir et visqueux
Liquide porteur	huile hydrocarbonnée
Magnétisation à saturation (Ms)	30 mT (28 35)/ 23873 A/m
Viscosité (à 27°C)	80 mPa.s (30 200)
Densité (à 27°C)	1,04 g/cm <sup>3</sup> (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 $\chi$

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 :

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

$$\alpha = \frac{\pi \mu_0 M_0 d_p^3 H}{6 k_B T} \text{ avec } k_B = 1,380649.10^{23} J.K^{-1}$$

$$M_0 \text{ magnétique} = 4,5.10^5 A.m^{-1}, d_p = 10nm, \phi = \frac{7,3}{100} \text{ et } T = 20C = 293,15K$$

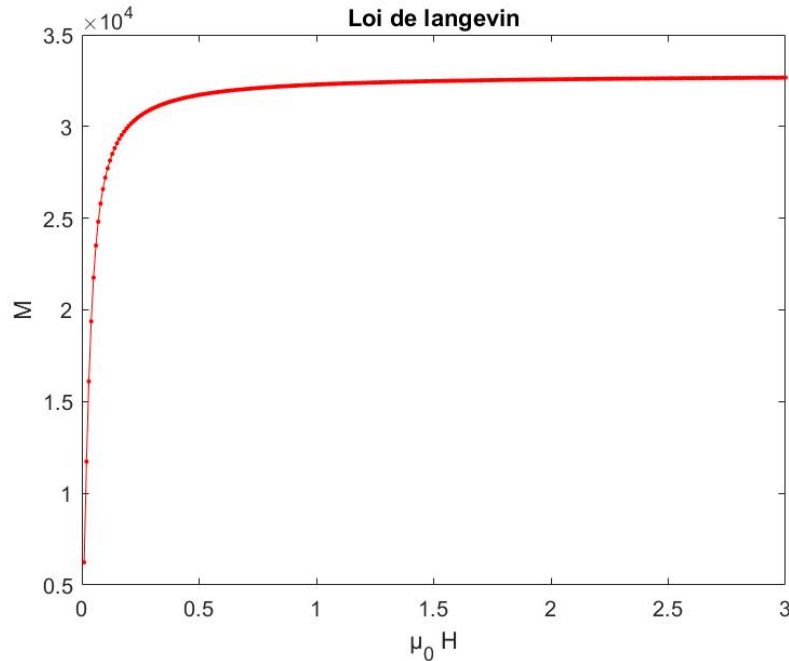


FIGURE 5.8 – Loi de Langevin tracé sous Matlab

### Temps de Brown $\tau_B$

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  $\eta_0$  (Pa.s) : viscosité dynamique du fluide porteur et  $V_{hydroP}$  : volume hydrodynamique de la particule incluant l'épaisseur de son surfactant s.

### 5.2.3 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 (~1T)	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 6

# Partie expérimentale

### 6.1 Fournisseurs de ferrofluide

#### 6.1.1 Première commande chez Supermagnete

Nous avons débuté notre approche avec le ferrofluide avec une commande de 10 mL pour faire nos premières expériences avec le ferrofluide.

#### 6.1.2 Recherche d'un fournisseur à plus grande échelle

Amazon est un fournisseur géant qui fait partie des plus grandes entreprises mondiales. Ils proposent des flacons de 1L mais l'ENSEA n'autorise pas les commandes chez Amazon. Actuellement nous n'avons pas trouvé d'autres fournisseurs à plus grande échelle que des entreprises comme Supermagnete qui proposent uniquement des flacons de 10 à 50 mL.

### 6.2 Essais

#### 6.2.1 Expérience pour faire le ferrofluide nous-même

Nous avons fait de multiples recherches sur le navigateur pour trouver une recette de ferrofluide pour débiter nos expériences. La poudre des cartouches d'encre des imprimantes avec une huile végétale permettrait d'obtenir un ferrofluide accessible. Cependant les caractéristiques des cartouches d'encre que nous avons à disposition n'étaient pas magnétisées. Nous avons alors décidé de passer des commandes chez des fournisseurs.

#### 6.2.2 Test dans de l'eau minérale

A l'aide de la verrerie que l'on trouve dans des laboratoires de chimie, on teste la réactivité du ferrofluide face à un aimant permanent. Les résultats observés ne sont pas entièrement satisfaisants. Le ferrofluide colle à la paroi et

tâche celle-ci. Le ferrofluide n'est pas assez réactif face à l'aimant permanent. Nous allons donc faire une commande d'électro-aimants plus puissants afin de pouvoir rendre notre ferrofluide plus mobile.

### 6.2.3 Test dans de l'eau minérale salée

D'après une étude scientifique, le sel permettrait d'empêcher le ferrofluide à s'accrocher à la paroi du bécher. Nous avons donc tester le ferrofluide dans un solvant eau salée. Le ferrofluide est devenu plus réactive que précédemment et s'accroche moins à la paroi mais il reste des parties du ferrofluide sur la paroi qui ne partent pas. Il faudrait le matériel nécessaire pour faire une eau saturée en sel pour voir des résultats satisfaisants.

### 6.2.4 Test de l'adhésion du ferrofluide sur la paroi

On laisse une goutte de ferrofluide sur une surface en verre et en plexiglas pendant 1 semaine pour voir si le ferrofluide est difficile à nettoyer sur une paroi en verre ou en plexiglas.

Après une semaine, le ferrofluide part avec une serviette et ne laisse pas de trace.

### 6.2.5 Test dans de l'eau minérale saturée en sel casher

D'après cet article : <https://www.instructables.com/Really-Beautiful-Swimming-Ferrofluids/?fbclid=IwAR10XM2tVmeFdkvh6qgk1VpmdhB1-O4y9QKBs8LzSCWY6vQVq93c4e0l>

Il existe une solution pour que le ferrofluide ne colle pas à la paroi.

Cette solution demande une préparation sur 4 jours. Le ferrofluide utilisé est le Ferrotec EFH1 (commandé sur Amazon). Le sel doit être du sel casher ou du NaCl pur. La verrerie doit être nettoyer à l'ammoniac.

Protocole de l'expérience :

1- Préparer le ferrofluide : Le faire chauffer pour évaporer 20 pourcents des hydrocarbures. Puis mettre le ferrofluide dans une boîte à pétri sur une plaque électrique jusqu'à de réduire le poids pur de 10 pourcents au moins.

2- Préparer la solution de suspension : 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 casher 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. Rincer à l'eau distillée. Mettre la solution saturée en sel avant le ferrofluide.

4- Fin : Verser la solution en sel dans le récipient jusqu'au bord. Transférer le ferrofluide dans la solution saturée en plaçant la pointe de la pi-

petite à environ 2,54 cm de la surface. Aspirer le ferrofluide flottant avec une serviette en papier. Sceller le récipient avec une petite bulle d'air en haut (dilater avec la température).

# Chapitre 7

## Résultats

### 7.1 Section 1

#### 7.1.1 Sous-section 1

#### 7.1.2 Sous-section 2

### 7.2 Section 2

#### 7.2.1 Sous-section 1

#### 7.2.2 Sous-section 2

#### 7.2.3 Sous-section 3

## Chapitre 8

# Amélioration futur du projet

### 8.1 Section 1

#### 8.1.1 Sous-section 1

#### 8.1.2 Sous-section 2

### 8.2 Section 2

#### 8.2.1 Sous-section 1

#### 8.2.2 Sous-section 2

#### 8.2.3 Sous-section 3



## Chapitre 9

# Remerciements

# 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 Cherief. 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] Supermagnete. Ferrofluide de 10 ml.
- [11] Léopold Tobisch. Voir la musique... que sont la synesthésie et la chromesthésie? *France musique*, 23 novembre 2018.