

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX - REALITY TECH

**Mémoire de stage
Master 2 Informatique
Image et son**

Auteur :
Nicolas PALARD

Client :
Jérémie LAVIOLE
Référent :
Vincent LEPESTIT



Résumé

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed non risus. Suspendisse lectus tortor, dignissim sit amet, adipiscing nec, ultricies sed, dolor. Cras elementum ultrices diam. Maecenas ligula massa, varius a, semper congue, euismod non, mi. Proin porttitor, orci nec nonummy molestie, enim est eleifend mi, non fermentum diam nisl sit amet erat. Duis semper. Duis arcu massa, scelerisque vitae, consequat in, pretium a, enim. Pellentesque congue. Ut in risus volutpat libero pharetra tempor. Cras vestibulum bibendum augue. Praesent egestas leo in pede. Praesent blandit odio eu enim. Pellentesque sed dui ut augue blandit sodales. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Aliquam nibh. Mauris ac mauris sed pede pellentesque fermentum. Maecenas adipiscing ante non diam sodales hendrerit. Ut velit mauris, egestas sed, gravida nec, ornare ut, mi. Aenean ut orci vel massa suscipit pulvinar. Nulla sollicitudin. Fusce varius, ligula non tempus aliquam, nunc turpis ullamcorper nibh, in tempus sapien eros vitae ligula. Pellentesque rhoncus nunc et augue. Integer id felis. Curabitur aliquet pellentesque diam. Integer quis metus vitae elit lobortis egestas. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Morbi vel erat non mauris convallis vehicula. Nulla et sapien. Integer tortor tellus, aliquam faucibus, convallis id, congue eu, quam. Mauris ullamcorper felis vitae erat. Proin feugiat, augue non elementum posuere, metus purus iaculis lectus, et tristique ligula justo vitae magna. Aliquam convallis sollicitudin purus. Praesent aliquam, enim at fermentum mollis, ligula massa adipiscing nisl, ac euismod nibh nisl eu lectus. Fusce vulputate sem at sapien. Vivamus leo. Aliquam euismod libero eu enim. Nulla nec felis sed leo placerat imperdiet. Aenean suscipit nulla in justo. Suspendisse cursus rutrum augue. Nulla tincidunt tincidunt mi. Curabitur iaculis, lorem vel rhoncus faucibus, felis magna fermentum augue, et ultricies lacus lorem varius purus. Curabitur eu amet.

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Contexte et cadre	1
1.2	Objectifs	2
2	Notions	3
3	État de l'art	7
3.1	PapARt	7
3.2	Systèmes de réalité augmentée spatiale	8
3.3	Bilan	8
4	Développement d'application	9
4.1	ReARTable	9
4.1.1	Besoins et contenu de l'application	10
4.2	Extraction de document	11
	Annexes	13
Annexe 1		13
1	Partie 1	13
1.1	Sous-partie 1	13
1.2	Sous-partie 2	13
1.3	Sous-partie 3	13
2	Partie 2	13
2.1	Sous-partie 1	13
2.2	Sous-partie 2	13
2.3	Sous-partie 3	13
Annexe 2		14
	Prérequis	14
1	Partie 1	14
1.1	Sous-parie 1	14
1.2	Sous-parie 2	14
2	Partie 2	14
3	Partie 3	15

Introduction

Ce mémoire retracera les missions réalisées durant mon stage de Master 2 Informatique pour l'Image et le Son à l'Université de Bordeaux 1 effectué entre Avril et Septembre 2018 (6 mois) dans la société RealityTech. Ce rapport ne couvrira cependant que les 5 premiers mois du stage car la date de rendu de ce dernier précède d'un mois la date de fin du stage.

Le stage a donc été effectué chez RealityTech une jeune start-up de réalité augmentée spatiale. Issue de l'Inria de Bordeaux, l'institut national de la recherche en information et en automatique, cette dernière est la continuité d'un projet de recherche mené par Jérémy Laviole, ex ingénieur de recherche à l'Inria. Ce projet, PapARt¹ Paper Augmented Reality ToolKit, est un kit de développement (SDK) permettant de créer des expériences de réalité augmentée sous forme d'applications de projection interactive dans des feuilles de papier. Pour créer ces expériences, du matériel spécifique est nécessaire, des caméra couleurs et des caméra de profondeur utilisées pour capter le monde réel, un projecteur pour pouvoir projeter le contenu numérique et un ordinateur. Ce matériel est fourni par RealityTech qui réalise tout le travail de calibration et d'installation de l'environnement nécessaire. En parallèle de la partie matériel, la société continue de développer activement le SDK et de créer des applications, afin d'étendre les possibilités de la technologie. Le but est de pouvoir ouvrir la technologie à d'autres domaines que celui de la recherche pour mettre les outils collaboratifs, les systèmes interactifs aux services de l'éducation, du vidéo ludique, de la vulgarisation etc...

1.1 Contexte et cadre

Actuellement, RealityTech se développe dans un incubateur de start-up appelé La Banquiz² situé 4 rue Eugène et Marc Dulout, à Pessac Centre. L'objectif de La Banquiz est de promouvoir des start-up Open Source³ et innovantes en leur apportant à leur dirigeant des formations, du coaching individuel et collectif, de l'aide pour la recherche de financement et tout ce qui gravite autour de l'accompagnement de jeunes entreprises.

A ce jour RealityTech ne travail qu'avec des laboratoires de recherche (comme ...) et cherche à étendre son secteur d'activité. Les systèmes proposés par la société fournissent les résultats espérés et la dynamique de celle-ci s'oriente donc vers une commercialisation du produit. Dans cette optique, l'entreprise souhaite innover du point de vue matériel et logiciel en développant une plateforme haute performance mais aussi du point de vue utilisabilité. Actuellement le développement d'application clients se fait via un SDK Processing⁴ cependant ce dernier ne répond pas totalement aux besoins lorsqu'il s'agit de développer des applications utilisant par exemple la 3D.

Pour débuter ce stage, j'ai eu l'occasion de participer au Laval Virtual, le plus grand salon international sur la réalité augmentée et virtuelle, pendant une semaine en tant qu'exposant. J'ai pu développer une bonne connaissance du produit et ai pu observer de nombreuses technologies à l'état de l'art dans ces domaines. C'est aussi ce salon qui m'a permis de comprendre les besoins auxquels pouvait répondre une technologie comme celle de RealityTech et par la même occasion les enjeux et les apports de celle-ci. Ça a aussi été une très bonne expérience au niveau relationnel car elle a permis de créer rapidement une relation avec Jeremy Laviole, mon tuteur de stage.

Le reste de mon stage a été réalisé à la Banquiz où j'ai été au contact de toutes les entreprises officiant en son sein. J'ai notamment pu rencontrer d'autres stagiaires tel que Rémi Kressmann, développeur, et

1. <https://project.inria.fr/papart/fr/>

2. <http://labanquiz.com>

3. https://fr.wikipedia.org/wiki/Open_source

4.

Gabin Andrieux, commercial chez LockEmail, une entreprise de cyber-sécurité, mais aussi des dirigeants comme Jean François Schaff, un brillant physicien ayant créer une plateforme de télé expertise pour les professionnels de santé, avec qui j'ai énormément échangé aussi bien sur des concepts de programmation, que sur la culture de l'informatique en générale.

Problématique du sujet

1.2 Objectifs

Le déroulement du stage a été fortement guidé par les besoins de la société.

Applications de démonstration Le premier gros objectif du stage était le développement d'applications de démonstration en utilisant le produit de l'entreprise. Le but était de comprendre l'essence, le fonctionnement global du produit et ce qu'il était possible/impossible de réaliser avec celui ci. Cet objectif m'a permis d'acquérir à la fois une vision globale de l'architecture logiciel et du fonctionnement interne du kit de développement, et de l'architecture matérielle nécessaire a l'utilisation du kit. En développant ces applications de démonstration, j'ai acquis une vision globale du projet qui m'a permis d'avoir une certaine autonomie assez rapidement

Plateforme haute performance Le deuxième objectif était de réaliser une preuve de concept haute performance du produit. En effet, comme expliqué dans la partie sur le contexte (sec. 1.1), l'entreprise se lançait dans le développement d'une nouvelle plateforme haute performance. Aussi bien au niveau matériel, ordinateur, caméra, projecteur, que logiciel, algorithmes, communication inter processus, accès au matériel, il a fallut réaliser des tests complets.

Kit de développement Le dernier objectif était le développement d'un kit de développement (SDK) permettant de créer des applications de réalité augmentée spatiale ou en vue au travers utilisant la technologie de RealityTech sous Unity. Le but était de pouvoir profiter de la puissance d'Unity en tant que moteur de jeu / moteur 3D.

Notions

Le domaine d'activité qui entoure ce stage est très riche en termes de notions et de vocabulaire. Afin de mieux comprendre de quoi il va être question tout au long de ce rapport, il est nécessaire d'en définir les notions de base.

Réalité virtuelle La réalité virtuelle plus communément appelé *Virtual Reality (VR)* désigne l'ensemble des environnements purement numériques (fig 2.1), qu'ils soient réalistes ou non, dans lesquels aucune interaction avec l'environnement réel n'est possible et inversement. Cette réalité se base très généralement sur un casque *Head Mounted Display (HMD)* dont l'utilisateur doit se munir afin d'être immergé dans un monde numérique avec lequel il peut interagir. Dans la réalité virtuelle, l'immersion est une notion importante lorsqu'il s'agit de la différenciée d'un simple programme informatique.



FIGURE 2.1 – Représentation de continuum de la virtualité par Milgram et Kishino, 1995[?]

Réalité augmentée La réalité augmentée plus communément appelé *Augmented Reality (AR)* quant à elle est un sous domaine de la réalité virtuelle. L'idée de la réalité augmentée est de venir superposer à l'environnement réel des éléments virtuels. Ces éléments vont alors venir "augmenter" notre monde en apportant le plus souvent des compléments d'informations. Elle est donc qualifiée de sous domaine de la réalité virtuelle car l'utilisateur n'est plus immergé dans un environnement complètement numérique mais du contenu virtuel est ajouté en contexte à la vision réelle. Par abus de langage le terme de réalité augmentée est souvent utilisé pour parler de réalité mixte dont la notion est détaillée ci dessous. Il faut noter que ce type de réalité ne se base pas uniquement sur des *HMD* mais peut être aussi apprécié à l'aide d'un téléphone par exemple (fig 2.2).



FIGURE 2.2 – Réalité augmentée vu au travers d'un téléphone¹

Réalité mixte La réalité mixte, ou hybride, plus communément appelé *Mixed Reality (MR)*, ou *Crossed Reality (XR)*, est la fusion parfaite de l'environnement numérique et de l'environnement physique (fig 2.1). Dans ce "nouvel" environnement, les objets physiques et numériques coexistent et peuvent interagir entre eux, par exemple une table peut devenir une plateforme pour un personnage virtuel (fig 2.3).

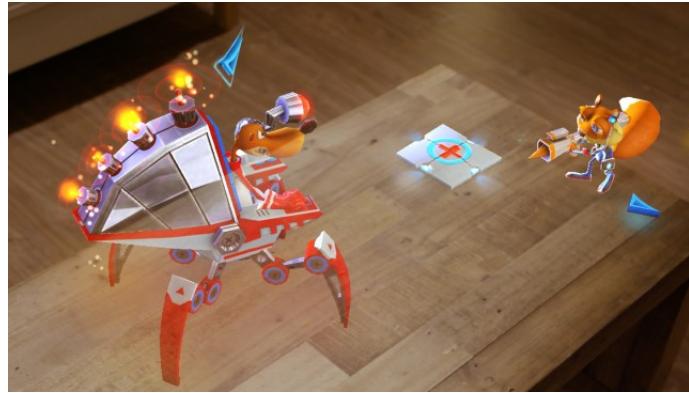


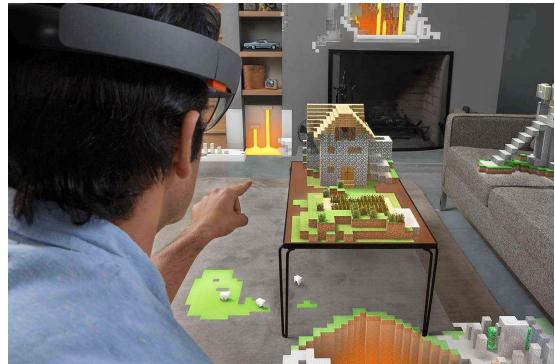
FIGURE 2.3 – Asobo Studio™- Young Conker©

Réalité augmentée vue au travers La réalité augmentée vue au travers, plus communément appelé *See Through Augmented Reality (STAR)* est une technique de visualisation de la réalité augmentée où les éléments numériques sont vu au travers d'un écran (fig 2.4a) ou d'un *HMD* (fig 2.4b). C'est le type de visualisation le plus utilisé actuellement. L'un des défauts majeur de ce type de visualisation est que la plus part du temps, chaque utilisateur a besoin de son propre écran ou casque pour pouvoir en profiter pleinement ce qui limite grandement les expériences collaboratives. Aussi les principaux défauts liés aux écrans s'appliquent aussi, à savoir fatigue visuel etc.

1. Source : <https://www.engadget.com>



(a) Pokémons GO - Vue au travers téléphone²



(b) Microsoft HoloLens - Vue au travers casque³

FIGURE 2.4 – Réalité augmentée vue au travers

Réalité augmentée spatiale La réalité augmentée spatiale, plus communément appelé *Spatial Augmented Reality (SAR)* est une technique de visualisation qui se base sur un dispositif de projection. Les éléments virtuels qui viennent "augmenter" le monde réel sont projetés dans l'espace (fig 2.5), d'où le terme spatial. L'avantage de cette technologie est qu'elle est naturellement collaborative car les projections sont visibles sans l'aide d'aucun dispositif. Un autre atout de cette technologie est la visualisation directement sur les objets physiques manipulable ce qui permet de développer facilement des interfaces tangibles.



FIGURE 2.5 – Présentation d'une voiture en utilisant la réalité augmentée spatiale⁴

Interface tangible Une interface utilisateur tangible ou *Tangible User Interface (TUI)* est une interface utilisateur via laquelle des objets physiques, ou encore le toucher, permettent de manipuler des données numériques (fig 2.6b). Les interfaces utilisateurs tangibles remplacent très souvent les interfaces utilisateur graphiques (fig 2.6a) où *Graphical User Interface (GUI)* dans la plupart des applications de réalité augmentée car elles fournissent un contrôle direct à l'utilisateur sur ce qu'il souhaite manipuler (par opposition au contrôle indirect, comme la souris, nécessaire à la manipulation des GUI).

-
- 3. Source : Pokemon GO
 - 3. Source : Microsoft HoloLens
 - 4. Source : Google Image

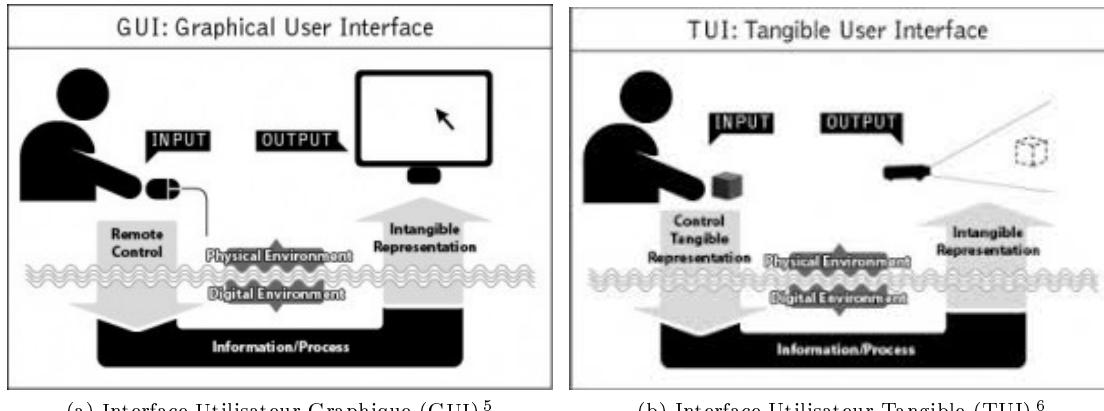


FIGURE 2.6 – Différences des interfaces utilisateurs

Calcul haute performance Le calcul haute performance ou *General-Purpose computing on Graphics Processing Units (GPGPU)* désigne une méthode de calcul utilisant la carte graphique (GPU) plutôt que le processeur (CPU). Cette technique permet de bénéficier de la puissance de la carte graphique afin de réaliser du calcul en parallèle et est très souvent utilisée pour la plupart des traitement lourd comme par exemple le rendu d'une scène 3D, l'encodage de vidéo, les simulations physiques (particules) etc. Cette technique repose sur le grand nombre de coeurs présent dans les cartes graphiques (contrairement aux processeurs) et sur la capacité de chacun de ces coeurs à effectuer des opérations simples de manière très efficace. Le calcul haute performance ne peut cependant pas se passer du CPU qui va être principalement utilisé pour récolter et transférer les données traitées ou à traiter.

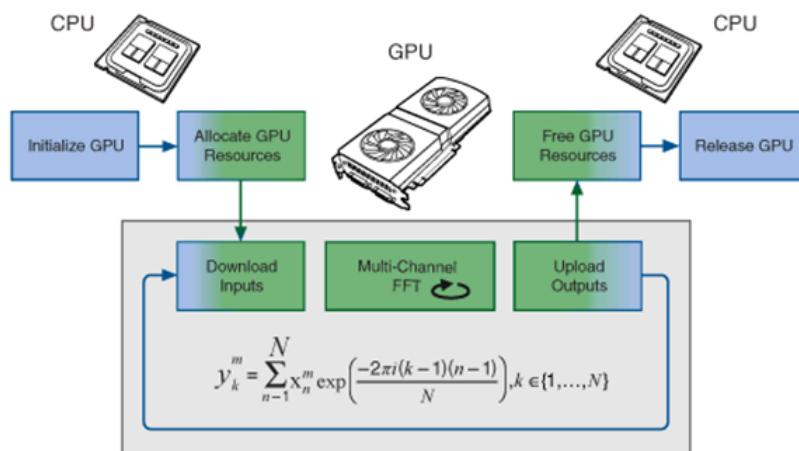


FIGURE 2.7 – Exemple de calcul de la FFT sur GPU⁷

6. Source : Icon Library - From GUI to TUI

6. Source : Icon Library - From GUI to TUI

7. Source : National Instruments

État de l'art

Intro

3.1 PapARt

Comme décrit dans l'introduction chapitre 1, PapARt ou Paper Augmented Reality Toolkit se présente sous la forme d'un kit de développement permettant de créer des applications interactives en réalité augmentée de création de dessins ou de peinture (fig 3.1). L'idée est de proposer une technique numérique non intrusive pour faciliter une tâche complexe, tel que le dessin tout en permettant à l'utilisateur de s'exprimer.



FIGURE 3.1 – Jeremy Laviole utilisant PapARt pour dessiner en réalité augmentée¹

Le système interactif (fig 3.2) permettant d'utiliser tout le potentiel de PapARt est très spécifique. Il se compose de 2 dispositifs d'acquisitions, une caméra couleur observant la zone de travail pour venir y détecter les feuilles de papier qui serviront de base à la projection. Les feuilles de papier détectées par PapARt sont ornés de marqueurs ARToolKitPlus², est une bibliothèque de détection de marqueurs fiduciaires³. Ces marqueurs une fois détectés permettent d'estimer assez précisément la position de la feuille. Une fois la feuille détectée, PapARt se charge ensuite d'interpréter les marqueurs pour y projeter le contenu adéquat comme par exemple un dessin ou un menu.

Le deuxième dispositif d'acquisition est une caméra de profondeur qui a pour rôle de détecter les différents utilisateurs et les potentiels interactions. Grâce aux informations de profondeur, les interactions peuvent être détecté soit sur le plan de la zone de travail, ce sont des interactions qualifiées de "touch", soit dans l'espace au dessus de la zone de travail, qu'on qualifiera de "pointage 3D". En plus de ces deux caméra, un projecteur est présent pour gérer toute la partie visualisation. Son rôle est de projeter dans les zones adéquates (i.e détectées via des feuilles de marqueur) le contenu numérique désiré.

Pour avoir une représentation à l'échelle comme mentionné, il est nécessaire d'avoir une calibration caméras/projecteur très précise. Cette calibration très précise permet aux système complet d'avoir des

1. Source : Inria - PapARt

2. <https://github.com/paroj/ar toolkit plus>

3. Un marqueur fiduciaire est un objet placé dans le champ de vision le plus souvent de système d'imagerie qui apparaît sur l'image produite et qui va servir de point de repère ou de référence.

capacités d'interaction et de manipulation (toucher, balayage, balayage à deux doigts) d'une tablette tactile.

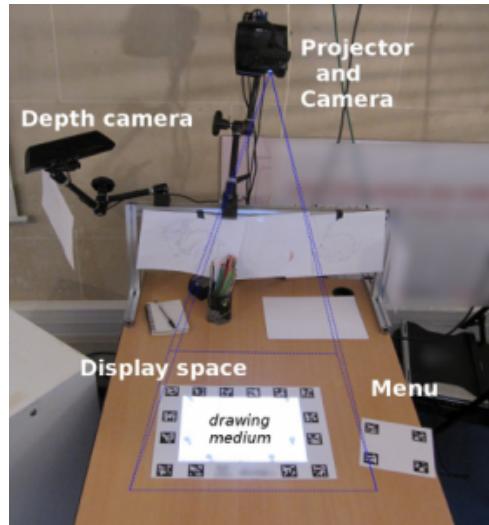


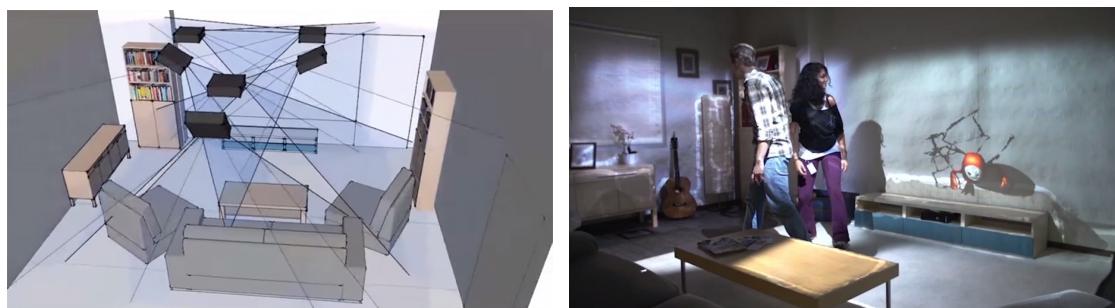
FIGURE 3.2 – Système interactif utilisant PapARt⁴

Au-delà des applications d'aide au dessin qui sont extrêmement nombreuses, PapARt ouvre un champ des possibles assez large. Le rôle de RealityTech est d'explorer ce champ des possibles en améliorant PapARt et en fournissant de nouveaux cas d'utilisation toujours plus innovants.

3.2 Systèmes de réalité augmentée spatiale

RoomAliveToolKit RoomAliveToolKit[?] est un projet tout droit sorti des laboratoires de recherche de Microsoft. RoomAliveToolKit est un kit de développement créé en 2013 par Nikunj Raghuvanshi, Eyal Ofek et Andy Wilson qui permet, à l'instar de PapARt, de créer des expériences de projection interactive. La principale différence réside dans le fait que RoomAliveToolKit a pour but de donner vie à des pièces entières en utilisant plusieurs projecteurs et plusieurs caméras qui fonctionnent en unisson.

RoomAliveToolKit a permis entre autres de développer de nombreux projets basés sur la projection interactive tel que RoomAlive, Room2Room, IllumiRoom et bien d'autre.



(a) Système de projection interactif nécessaire à l'utilisation de RoomAliveToolkit⁵

(b) RoomAlive - Démonstration⁶

FIGURE 3.3 – Microsoft Research : RoomAliveToolkit et RoomAlive

3.3 Bilan

4. Source : Inria - PapARt

6. Source : RoomAliveToolkit

6. Source : Microsoft HoloLens

Développement d'application

Comme expliqué dans l'introduction chapitre 1 le premier objectif du stage était le développement d'applications de réalité augmentée spatiale. Il était important pour commencer le stage d'évaluer les possibilités offertes mais aussi les contraintes posées par le kit de développement. Le travail demandé ne se cantonnait donc pas uniquement au développement d'application mais il était important d'effectuer un travail d'analyse et de critique du kit.

4.1 ReARTable

D'après le contexte et le public ciblé par l'entreprise, il m'a paru intéressant de développer une démonstration au but à la fois ludique et éducatif. J'ai donc choisi de recréer la technologie Reactable[?] proposé par la société du même nom.

La Reactable est un instrument de musique électronique permettant la génération de son en direct développé depuis 2003. Présenté sous forme d'une table interactive, le son est généré via des éléments tangibles (fig. 4.1) placés à sa surface.



FIGURE 4.1 – Élément tangible utilisé pour la génération d'un élément de synthétiseur sur la Reactable¹

Chaque élément tangible représente un élément de synthétiseur qu'il est possible de contrôler de plusieurs façons :

- La distance de l'élément par rapport à un autre élément. Cette propriété peut être utilisée pour contrôler, par exemple, l'interaction entre deux éléments.
- L'orientation de l'élément sur la table. Cette propriété peut être utilisée pour contrôler, par exemple, la fréquence de l'élément ce qui va avoir pour effet par exemple pour un battement de ralentir ou d'accélérer ce dernier.
- La disposition de l'élément. Cette propriété permet entre autre de combiner des éléments pour créer des nouveaux sons plus riches et plus complexes.
- La position du doigt de l'utilisateur par rapport à un élément. On peut venir contrôler divers paramètres comme l'amplitude par exemple en venant faire graviter son doigt autour d'un élément. Ainsi, c'est en combinant plusieurs éléments entre eux avec différentes orientations et différentes dispositions que l'utilisateur va pouvoir peu à peu "construire" sa musique. Au-delà de la détection des éléments tangibles, la table est rétro-éclairée et permet donc la visualisation en directe de la musique générée (fig. 4.2).

1. Source : Reactable : Elements tangibles



FIGURE 4.2 – Visualisation du son sur la Reactable²

4.1.1 Besoins et contenu de l'application

Le but de l'application était de proposer une démonstration ce de qu'est capable de faire le système proposé par RealityTech et non pas de créer une application finie reprenant tous les points de la Reactable. Un tel développement pourrai faire l'objet d'un stage entier et ce n'était pas le cas ici.

Pour être en adéquation avec l'idéologie de l'entreprise, l'interface tangible et les modes d'interactions avec la musique était un point cruciale dans le développement de cette application.

Ainsi j'ai défini les besoins suivant pour l'application :

- Créer un son. L'application devait pouvoir générer du son.
- Créer une représentation physique du son. Chaque son devait avoir sa représentation physique, c'est à dire, son élément qui une fois posé dans le champ de vision de la caméra allé détecter le son.
- Déetecter et identifier les éléments représentation des sons. Pour pouvoir jouer le bon son en fonction d'un objet physique, il fallait que l'application soit capable de détecter et d'identifier l'élément en question.
- Contrôler les paramètres d'un son. L'application devait pouvoir contrôler certains paramètre défini a l'avance du son généré comme par exemple la fréquence ou l'amplitude.
- Créer une visualisation basic d'un son. L'application devait proposer une visualisation du son généré pour guider l'utilisateur dans son expérimentation.

Choix et implémentation

L'application a donc été développé sous Processing en utilisant PapARt pour la partie visualisation, détection et projection et Sonic Pi pour la génération de son. Sonic Pi est un synthétiseur temps réel qui permet très facilement de générer des sons de manière cohérente. Le gros avantage de Sonic Pi est qu'il gère en interne énormément de problèmes posé par la génération dynamique de musique comme par exemple la synchronisation de la boucle sonore principale, les effets d'entrée et de sortie des instruments etc...

Comme on peut le voir sur le schéma explicatif (fig ??), les éléments tangibles représentants des sons se présentent sous forme de regroupement d'éléments rond de petite taille. L'idée derrière ce choix est d'encourager la manipulation d'élément physique pour garder le contenu numérique en contexte et favoriser la création. On peut différencier deux sons en fonction du contenu du regroupement (nombre, position et couleur des éléments regroupés).

Une fois les éléments détectés, regroupés et identifiés, le son peut être créé. La création de son se fait simplement via la transmission d'un message OSC a un serveur Sonic Pi préalablement démarré. Toutes les communication entre l'application passe par ce protocole qui permet donc de démarrer/arrêter/modifier le son.

2. Source : Reactable

2. Sonic Pi site

2. Le protocole OSC où OpenSoundControl est un format de transmission de donnée conçu pour le contrôle en temps réel

Pour ce qui est du contrôle du son, une zone autour du composant est défini dans laquelle soit un élément tangible, soit une interaction physique (avec le doigt) vont être détecté et converti en interaction avec le contenu numérique (fig. ??).

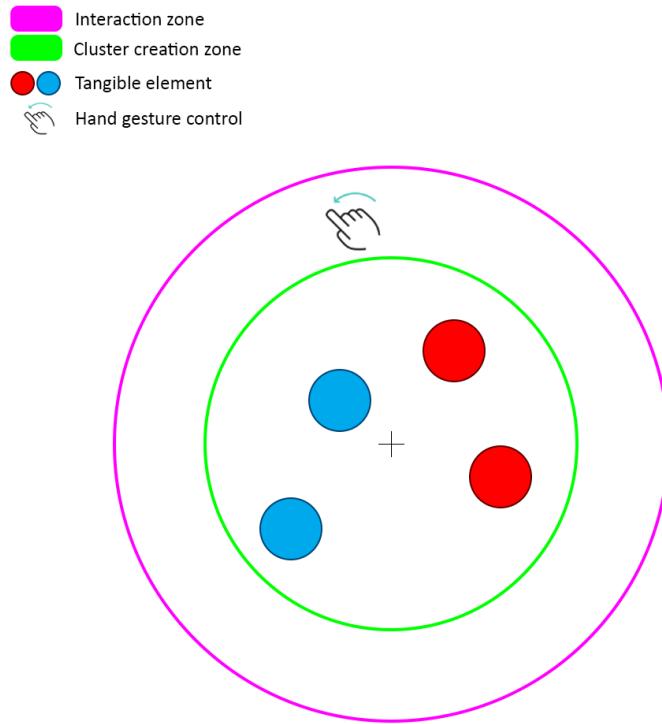


FIGURE 4.3 – Schéma représentant la création d'un son avec zone d'interaction

La dernière étape de l'application est la visualisation de la musique générée. Cette étape n'a finalement pas été abouti par manque de temps cependant elle a été réfléchi. L'idée était d'utiliser le spectre du son et les différentes fréquences qui le compose qu'on aurai récupérer via une transformée de fourrier pour créer une visualisation basé sur les fréquences avec des variations en fonction de hauteur, du tempo etc ou d'isoler pour chaque composant du son le spectre de fréquence qu'il génère et créer pour chaque composant sa visualisation associée.

4.2 Extraction de document

Annexes

Annexe 1

Intro

1 Partie 1

Bla

1.1 Sous-partie 1

Bla

1.2 Sous-partie 2

Bla

1.3 Sous-partie 3

Bla

2 Partie 2

Bla

2.1 Sous-partie 1

Bla

2.2 Sous-partie 2

Bla

2.3 Sous-partie 3

Bla

Annexe 2

Intro

Prérequis

Bla
— item1 ;
— item2 ;
— item3 ;
— item4.
Bla

1 Partie 1

Bla

1.1 Sous-parie 1

Bla

1.2 Sous-parie 2

Bla

2 Partie 2

ATTENTION !
Texte d'avertissement

Bla

3 Partie 3

Bla

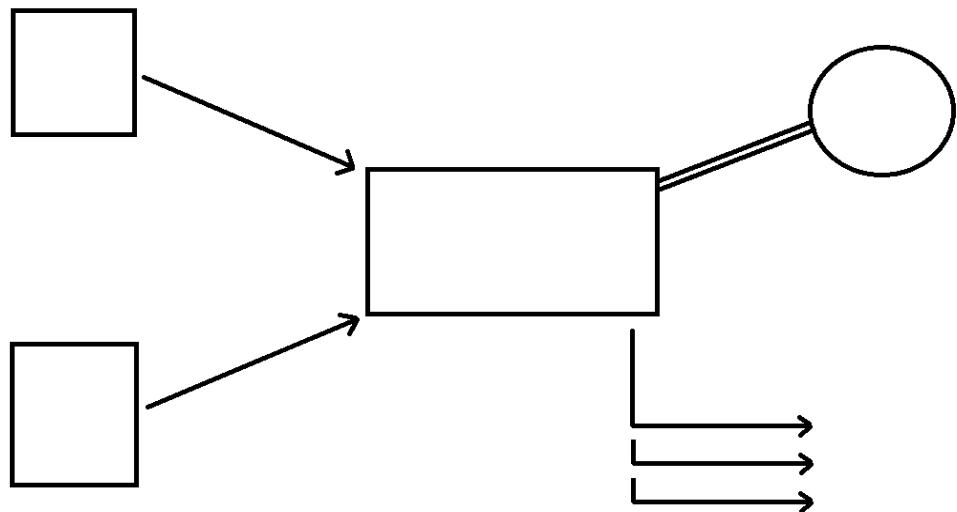


FIGURE 4.4 – Presentation schema

Paragraphe 1

Bla

Paragraphe 2

Bla

Paragraphe 3

Bla