

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
RÉSUMÉ	ii
TABLE DES MATIÈRES.....	iii
LISTE DES FIGURES	vi
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE.....	1
1.1. CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	1
1.2. PROBLÉMATIQUE.....	3
1.3. OBJECTIF.....	3
1.4. MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE.....	3
1.5. ORGANISATION DU MÉMOIRE.....	4
CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	5
2.1. INTRODUCTION.....	5
2.2. SON 3D.....	5
2.2.1. LA LOCALISATION AUDITIVE.....	6
2.2.1.1. INDICES INTÉRAURAU.....	7
2.2.1.2. INDICES SPECTRAUX.....	7
2.2.1.3. DÉTERMINATION DE LA DISTANCE	8
2.2.2. INFLUENCE DE LA PRESENCE D'AUTRES SOURCES.....	9
2.2.3. INFLUENCE DE LA VISION.....	9
2.3. EXPLOITATION DU SON BINAURAL.....	11
2.3.1. SON 3D POUR L'INTERACTION EN ENVIRONNEMENT VIRTUEL.....	11
2.3.1.1. ENVIRONNEMENT VIRTUEL.....	13
2.3.1.2. LOCALISATION DES SOURCES SONORES.....	13

2.3.1.3. APPLICATIONS D'AIDE AU DÉPLACEMENT ET D'ORIENTATION.....	14
2.4. JEUX SÉRIEUX.....	18
2.4.1. DEFINITION DES JEUX SERIEUX.....	18
2.4.2. EXEMPLES DES JEUX SERIEUX.....	18
2.5. CONCLUSION.....	20
CHAPITRE 3 : CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT.....	22
3.1. INTRODUCTION.....	22
3.2. APPROCHE THEORIQUE ET CONCEPTION DE NOTRE JEU.....	22
3.2.1. FACETTE 1: les objectifs pédagogiques.....	23
3.2.2. FACETTE 2: la simulation du domaine.....	23
3.2.3. FACETTE 3: interaction avec le modèle.....	24
3.2.4. FACETTE 4: les problèmes et la progression.....	24
3.2.5. FACETTE 5: le décorum.....	25
3.2.6. FACETTE 6: les conditions d'utilisation.....	25
3.3. LIGNES DIRECTRICES DU CONCEPTION.....	25
3.3.1. DÉFIS ADAPTÉS.....	26
3.3.1.1. NOMBRE D'ÉTAPES.....	26
3.3.1.2. FLOW.....	26
3.3.2. INTERFACE ET MÉCANISMES D'INTERACTION.....	27
3.3.2.1. INTERFACE LÉGÈRE.....	27
3.3.2.2. ASPECT MULTIMODAL.....	27
3.3.3. COMPOSANTES VISUELLES ET AUDITIVES.....	28
3.3.3.1. COMPOSANTES VISUELLES.....	28
3.3.3.2. COMPOSANTES AUDITIVES.....	29
3.4. DÉVELOPPEMENT D'UN JEU SERIEUX	29
3.4.1. DÉFI.....	30
3.4.2. JEU PROPOSE.....	30
3.4.2.1. NIVEAU DE JEU FACILE.....	31

3.4.2.2. NIVEAU DE JEU DIFFICILE.....	34
3.5. CONCLUSION.....	36
CHAPITRE 4 : EXPÉRIENCE ET ANALYSE DES RÉSULTATS.....	37
4.1. INTRODUCTION.....	37
4.2. PARTICIPANTS.....	37
4.3. EXPÉRIENCE.....	40
4.3.1. MATÉRIEL.....	40
4.3.2. PROTOCOLE EXPÉRIMENTALE.....	40
4.4. RÉSULTATS OBSERVÉES.....	41
4.4.1. DONNÉES RÉCUELLIES.....	42
4.4.1.1. RÉSULTATS D'APPRANTISSAGE POUR LE PREMIER NIVEAU.....	42
4.4.1.2. RÉSULTATS D'APPRANTISSAGE POUR LE DEUXIEME NIVEAU.....	43
4.4.2. ANALYSE.....	44
4.5. CONCLUSION.....	46
CHPITRE 5 : CONCLUSION GÉNÉRALE.....	47
5.1. CONTRIBUTIONS.....	47
5.2. TRAVAUX FUTURS ET LIMITATION.....	48
5.3. BILAN PERSONNEL DU TRAVAIL DE RECHERCHE.....	49
ANNEXE : FEUILLE D'INFORMATION DU PARTICIPANT	50
BIBLIOGRAPHIE.....	51

TABLE DES FIGURES

Figure 2.1. Les propriétés spatiales d'une source sonore.....	6
Figure 2.2. le phénomène représenté par la différence interaurale de temps et par la différence interaurale d'intensité.....	7
Figure 2.3. Différentes applications du son 3D pour l'interaction 3D.....	12
Figure 2.4. SWAN : Système de navigation sonore.....	15
Figure 2.5. Interface de l'application <i>AudioWorld</i>	19
Figure 3.1. Les 6 facettes du jeu sérieux.....	23
Figure 3.2. Plateforme d'accueil.....	31
Figure 3.3. Scène principale du niveau 1.....	32
Figure 3.4 Animation de succès.....	33
Figure 3.5. Animation d'échec.....	33
Figure 3.6. Scène principale du niveau 2.....	34
Figure 3.7. Différents angles du camera	35
Figure 3.8. Cible trouvée.....	36
Figure 4.1. Répartition des participants par état de genre.....	37
Figure 4.2. Répartition des participants par groupe d'âge.....	38
Figure 4.3. Occupation des étudiants ayant participé à l'expérience.....	38
Figure 4.4. Niveau de contact des participants avec les jeux vidéo.....	39

Figure 4.5. Niveau d'expérience des participants avec la réalité virtuelle.....	39
Figure 4.6. Comparaison des résultats pour le niveau 1.....	42
Figure 4.7. Comparaison des résultats pour le niveau 2.....	43
Figure.4.8. La moyenne des deux ensembles des scores de niveau 1.....	44
Figure.4.9. La moyenne des deux ensembles des scores de niveau 2.....	45

CHAPITRE 1

INTRODUCTION GENERALE

1.1. CONTEXTE DE LA RECHERCHE

Tout organisme vivant est en interaction constante avec son environnement. Ces interactions lui permettent de se déplacer ou de réagir vis-à-vis des stimulations du monde extérieur. Nous ne connaissons notre propre environnement tout comme notre propre corps qu'à travers nos organes sensoriels. En effet, les fonctions sensorielles permettent à l'individu de recueillir les informations sur le milieu extérieur et sur le milieu interne. Du point de vue physiologique, les sens sont des organes de la perception. Il est généralement établi que l'homme possède cinq sens, (l'œil est l'organe de la vue, l'oreille est l'organe de l'ouïe, la langue est l'organe du goût, le nez est l'organe de l'odorat, la peau est l'organe du toucher).

En fait, nombreuses situations de la vie impliquent l'exploitation de différents sens. Par exemple, lors de la lecture d'un livre, nous pouvons sans déplacer notre regard saisir le téléphone qui sonne à côté de nous, pourvu que ce dernier soit à portée de nos mains. Ce qu'il y a de plus intéressant dans cette situation est lié au fait que nous sommes en mesure de localiser le téléphone grâce au retour sonore (la sonnerie) sans exploiter la vision. Ceci, est, en effet, dû au retour binaural qui peut se résumer par la différence de temps d'arrivée du son à nos deux oreilles et l'ombre acoustique du son sur notre torse [Batteau, 1967, Batteau, 1968].

C'est ainsi que depuis notre enfance, nous avons appris à déceler avec plus ou moins de précision la direction d'un son par le biais du retour binaural. Ce faisant, par leur capacité omnidirectionnelle, nos oreilles nous permettent de superviser notre environnement au-delà de notre champ de vision (sur 360 degrés). Comme le dit le

proverbe, nos oreilles nous indiquent où regarder. D'ailleurs, il a été montré que lorsque privés du retour sonore, les gens se sentent plus observateurs qu'acteurs d'une action bien qu'ils l'aient eux-mêmes réalisés [Murray, Arnold & Thornton, 2000, 610]. C'est pour de telles raisons que l'on a intégré le rendu sonore binaural dans les environnements virtuels afin de les rendre plus immersifs.

Depuis quelques années, nous constatons en effet une popularité croissante pour l'usage des rendus sonores binauraux dans les environnements virtuels. Par cette intégration, lors de l'interaction avec les objets virtuels, le retour sonore associé aux interactions vient renforcer et compléter les informations visuelles. On parle alors de rendus multi-sensoriels (vision-audio) car plusieurs sens sont mis à contribution au profit de l'interaction.

De nouvelles interfaces comme les écrans tactiles sont également apparus dans notre quotidien. Tout cela met en scène plusieurs modalités sensorielles (la vue, l'ouïe et la toucher) qui permettent de plonger l'utilisateur dans un univers virtuel. Plusieurs études ont montré que tous ces composants sont importants pour former une expérience multimodale riche pour l'utilisateur [LOOR et al, 2006]. C'est dans cette optique que l'on voit émerger une problématique concernant la performance de tels systèmes. Comment l'association de plusieurs modalités sensorielles permet d'avoir un rendu plus riche?

Plusieurs recherches s'interrogent sur l'exploitation de rendus multimodaux permet aux utilisateurs d'être plus performants dans la réalisation d'une tâche donnée [Bouyer, 2007, Bourdot et al, 2006]. De plus, le rendu multi-sensoriel peut grandement contribuer à augmenter l'authenticité et la plausibilité de l'environnement virtuel, à savoir la cohérence globale de l'environnement virtuel, allant de la création d'un scénario plausible à la synthèse de réactions des personnages virtuels ou des objets virtuels qui soient en accord avec le monde virtuel, vont pousser le participant à croire au monde virtuel. Si le participant n'y croit pas, alors la sensation de présence en souffrira irrémédiablement. Alors, on se questionne sur l'ajout d'un rendu sonore spatialisé à un système de réalité virtuelle augmente a priori l'immersion.

Dans le cadre de notre étude, nous voulons aborder une question qui nous semble être en amont de cette problématique. En effet, il est à noter que les

capacités à évaluer correctement la direction d'un son varient fortement d'une personne à l'autre [Ménélas et al, 2010]. En particulier, nous avons observé que l'entraînement jouait un rôle significatif à cela [Ménélas et al, 2014]. Par conséquent, nous souhaitons permettre aux gens d'améliorer la perception de la direction d'un son binaural simulé sur un ordinateur.

1.2. PROBLÉMATIQUE

Dans ce contexte, nous nous intéressons à la question de comment permettre aux gens d'améliorer la perception de la direction d'un son binaural simulé sur un ordinateur. Plus particulièrement, notre problématique porte sur la conception et le développement d'un outil qui permettra aux gens de pouvoir s'entraîner afin de pouvoir mieux percevoir la direction d'un son rendu sur un ordinateur.

1.3. OBJECTIF

Notre objectif est de proposer un outil pour aider les gens à développer leurs capacités pour détecter la direction d'un son. Sachant que les jeux vidéo sérieux sont un outil efficace pour l'entraînement et l'apprentissage [Baranowski et al, 2003, Brougère, 2005, Sanchez, 2011] nous posons l'hypothèse que l'exploitation d'un jeu sérieux devrait amener les gens à améliorer leur capacité de perception de la direction d'un son binaural.

1.4. METHODOLOGIE

Après avoir spécifié notre problématique et présenté nos objectifs de recherche, la méthodologie de recherche qui sera exploitée pour la réalisation du projet comprend deux étapes. Une première étape porte sur la conception et le développement d'un jeu sérieux pour pouvoir entraîner les gens à mieux percevoir les retours sonores binauraux.

Une seconde étape consiste à valider le projet par le biais de tests sur des utilisateurs en bonne santé (ne présentant aucun problème d'audition) afin d'évaluer si le jeu permet ou non d'améliorer les capacités de détection sonore d'un des joueurs.

1.5. ORGANISATION DU MÉMOIRE

Ce mémoire est divisé en cinq chapitres présentés ci-dessous.

Nous avons exposé dans le premier chapitre notre introduction générale. Cette introduction avait pour but d'introduire le contexte de notre mémoire, d'expliquer la problématique de notre sujet de recherche, de présenter nos objectifs, de proposer les jeux sérieux comme solution et finalement d'expliquer la méthodologie adoptée lors de la réalisation du projet.

Le deuxième chapitre est une revue de la littérature qui présente les travaux antérieurs dans le domaine de réalité virtuelle les recherches rapportées sur l'usage du son pour les applications interactives et l'utilisation du son 3D pour l'interaction en environnement virtuel. Nous nous intéressons dans ce chapitre au développement des rendus binauraux dans le cadre des jeux sérieux. Ainsi, nous citons des exemples d'utilisation de son dans ce domaine.

Le troisième chapitre est composé de la partie théorique et pratique de ce mémoire. À cet effet, il comporte dans un premier temps, la phase de conception et d'identification des éléments qui seront exploités pour la création de notre jeu. Ensuite, il décrit l'implémentation du jeu sérieux conçu.

Le quatrième chapitre présente l'expérience menée dans le cadre de notre mémoire ainsi que l'analyse des résultats obtenus. En premier lieu, il décrit et explique les tests effectués. Ensuite, il présente l'ensemble des résultats obtenus.

Finalement, le cinquième chapitre présente un retour sur les objectifs suite aux résultats obtenus, les limites de notre expérience et les possibilités d'autres travaux complémentaires pour le futur.

CHAPITRE 2

REVUE DE LA LITTÉRATURE

2.1. INTRODUCTION

La vue et l'ouïe sont les sens les plus exploités chez l'être humain. Ils interviennent dans la perception et l'interaction avec l'environnement. Dans ce cadre, plusieurs recherches sont effectuées. Parmi eux, nous nous intéressons principalement aux recherches qui ont porté sur le développement d'application qui exploite essentiellement un rendu sonore comme principal moyen d'interaction. Ce chapitre a pour but de montrer ce qui a été fait dans des travaux antérieurs et ce que les recherches ont rapporté dans le domaine du son pour les applications interactives. Ainsi, nous citons des exemples d'utilisation de son.

2.2. LE SON 3D

Dans cette section, nous définissons le son 3D et rappeler les indices permettant la localisation auditive. Nous présentons ensuite certains facteurs pouvant influencer notre perception de l'espace.

Le terme 'son 3D' est apparu avec de nombreuses techniques de synthèse et de reproduction de la dimension spatiale du son. Ce dernier est utilisé comme un moyen de simulation et augmente le sens de présence de l'utilisateur dans un environnement virtuel [Hendrix et Barfield, 1995].

Le son 3D est un domaine qui traite de la stimulation des propriétés spatiales des sources sonores, telles que la direction, la profondeur et la réverbération. Ces

propriétés sont illustrées à la Figure 2.1 telle que la notion de directivité d'une source sonore représente la direction de sa provenance. Ce concept est issu du domaine de l'électromagnétisme pour indiquer la direction d'un champ magnétique. Elle se compose de l'azimut et de l'élévation. L'azimut est l'angle constitué entre la position de la source sonore et celle de l'auditeur dans le plan horizontal. L'élévation est l'angle formé par la position de la source sonore et le plan horizontal. Ainsi, l'azimut correspond à la direction latérale de la source et l'élévation correspond à sa hauteur. La profondeur se réfère à la distance entre la source et l'auditeur. L'information de profondeur est déterminée principalement par l'auditeur en fonction de l'intensité captée et des différences inter-aurales.

La réverbération se réfère à la résonance acoustique due aux surfaces environnantes. Cette résonance dépend de plusieurs facteurs tels que les propriétés acoustiques de l'environnement et ses composants, la position de la source sonore et celle de l'auditeur.

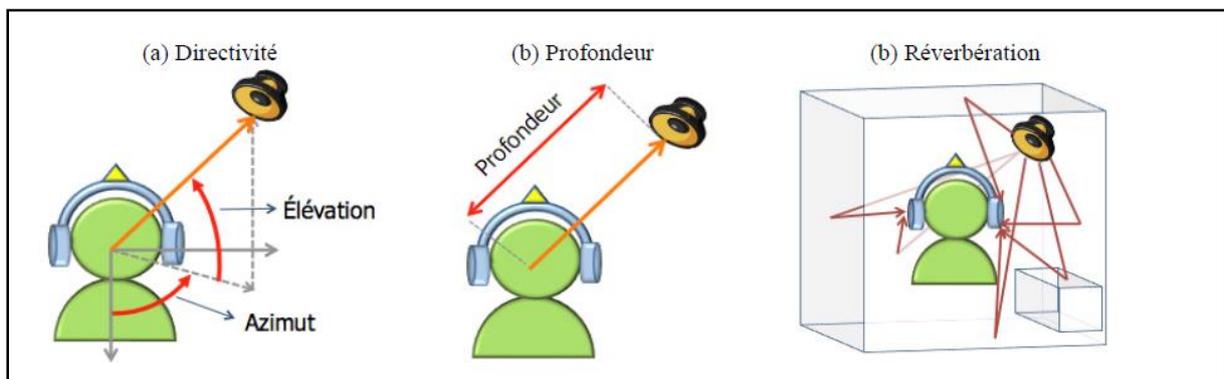


Figure.2.1 Les propriétés spatiales d'une source sonore [GONZÁLEZ, 2011]

Plusieurs procédés permettent de créer du son 3D. Parmi les plus populaires il est à noter l'ambisonique [Gerzon, 1985], le wavefield synthesis [berkhout et al, 1993] et la synthèse binaural [Begault, 1994].

2.2.1. LA LOCALISATION AUDITIVE

Les indices de la localisation spatiale présentés ici sont ceux de la perception dite « passive », c'est-à-dire sans mouvement de l'auditeur. Bien que cela ne soit pas

représentatif d'une expérience auditive naturelle, une telle contrainte est indispensable pour l'étude rigoureuse des capacités de l'humain à percevoir les sons dans l'espace. Il y a aussi la perception dite « active » pour laquelle l'auditeur peut orienter sa tête ou mettre son corps en mouvement. Nous allons dans ce qui suit rappeler les principaux indices acoustiques de localisation permettant d'expliquer l'extraction d'informations spatiales par le système auditif.

2.2.1.1. LES INDICES BINAURAUX

[Rayleigh, 1907] a réalisé un mécanisme de perception qui est sans doute le mécanisme de localisation le mieux connu. Nous pensons que le système auditif sonore est localisé d'une manière similaire au système visuel. Cette théorie « *duplex théorie* » se base sur la différence de position entre nos deux oreilles pour expliquer la localisation dans le plan horizontal. Ainsi, la captation par les deux oreilles d'une même onde sonore donne lieu à des indices dits « binauraux »

La figure 2.2 présente la différence interaurale de temps(ou ITD, pour *interaural Time Difference*) et la différence interaurale d'intensité (ou ILD, pour *interaural Level Difference*) [Blauert, 1997].

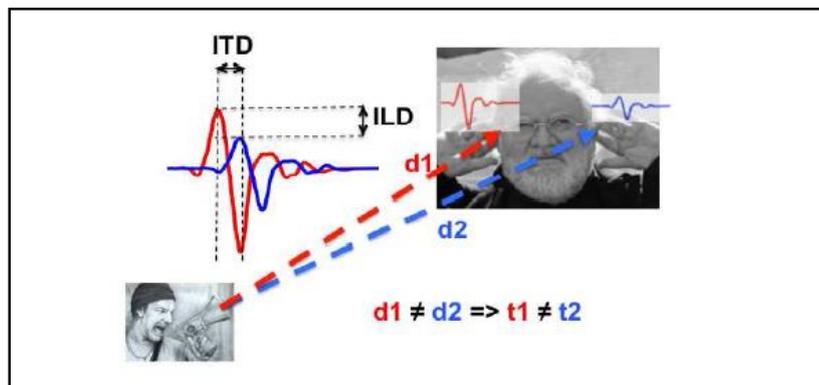


Figure.2.2–Le phénomène représenté par la différence interaurale de temps et par la différence interaurale d'intensité [Parseihian, 2013].

2.2.1.2. INDICES SPECTRAUX

Les indices spectraux correspondent aux modifications de l'amplitude et de la phase de spectre de la source sonore, dues aux multiples réflexions et détraction provoquées par les épaules, la tête et l'oreille externe sont à l'origine de ce qu'on

appelle les HRTF, pour *Head Related Transfer Function* (fonction de transfert relative à la tête) [Batteau, 1968, Begault, 1994, Blauert, 1997].

Il a été établi que la HRTF (ou la fonction HRTF) représente le filtrage fréquentiel qui se produit avant l'arrivée du son au tympan dans l'oreille interne [Begault, 2005]. La Fonction de Transfert de l'Effet de l'Anatomie (HRTF : *Head-Related Transfer Function*) est un double filtre qui exprime pour chaque canal auditif, la façon dont le son émis par une source spatiale dans une position donnée est affecté par l'anatomie d'un auditeur en particulier.

2.2.1.3. DÉTERMINATION DE LA DISTANCE

Il est difficile pour le système auditif d'identifier la distance d'une source sonore, donc il est mieux d'utiliser une évaluation relative (« plus proche » ou « plus loin »). Il y a des facteurs qui influencent la perception comme les suivants :

- Influence de niveau : le déplacement physique de sources sonores avec la réduction ou l'augmentation d'intensité (chaque doublement de distance implique une perte de 6 dB [Coleman, 1963]. C'est le premier indice que nous utilisons dans notre quotidien. Il nous permet d'être alertés.
- Influence de la composition spectrale du signal sonore : un son riche en hautes fréquences renforce la sensation de la présence de la source sonore, car les hautes fréquences sont plus fortement atténuées par la propagation dans l'air.
- Influence de la réverbération : Butler et al. ont constaté qu'une augmentation de la réverbération provoquait un éloignement des sources sonores [Butler et al, 1980]. La réverbération influence une estimation de l'éloignement en terme qualitatif (proche ou loin) et non en terme quantitatif.

2.2.2. INFLUENCE DE LA PRÉSENCE D'AUTRES SOURCES

Les indices de la localisation auditive ne suffisent pas nécessairement à garantir qu'une source sonore ayant une position donnée dans l'espace soit perçue comme telle. En fait, il y a d'autres facteurs qui influencent la perception de l'environnement.

Lorsque plusieurs sources acoustiques sont actives simultanément, les images de celles-ci ne sont pas nécessairement localisées au même endroit et avec les mêmes qualités que si elles étaient actives les unes sans les autres [Château, 1996]. Divers phénomènes peuvent se produire, conduisant à des perceptifs différents.

L'effet d'antériorité [Hass, 1972] est l'un des exemples les plus connus de fusion de signaux. Ce phénomène aussi nommé « loi du premier front d'onde », explique pourquoi en présence de réverbération, les sources virtuelles créées par les premières réflexions ne sont pas perçues comme des sources indépendantes. En effet, lorsqu'un même signal est émis par deux sources, avec un léger décalage temporel entre elles, il s'opère une fusion et le système localise ainsi une seule source dans la direction de la source alimentée la première.

Chernyak et Dubrovsky ont mis en évidence un autre exemple de fusion, en lien plus direct avec la localisation dans le plan horizontal [Chernyak et Dubrovsky, 1968]. En effet, ils ont remarqué qu'il était possible, dans certaines conditions, d'obtenir une fusion de deux images auditives en une seule.

2.2.3. INFLUENCE DE LA VISION

La vision joue un rôle important de localisation dans un environnement virtuel. Les systèmes de localisation auditive et visuelle sont en concurrence pour l'accès à une source dans l'espace, donc la perception d'un événement audio-visuel n'est pas une simple combinaison linéaire des percepts auditifs et visuels. Il est crucial de noter, que le système de perception humain a pour caractéristique d'être hautement non-linéaire, comme énoncé par [Walker et pick, 1981].

Selon [Radeau, 1994] de nombreuses interactions se produisent pouvant donner lieu à la délocalisation d'un des percepts voire même, dans certains cas, à une

véritable fusion perceptuelle (création d'un percept audiovisuel unique). Il est donc important de passer en revue quelques-uns des résultats fondamentaux, concernant l'influence de la vue sur la localisation auditive. Rappelons tout d'abord, que les performances des deux modalités en termes de localisation sont assez inégales.

Le pouvoir de résolution spatiale du système visuel est extrêmement élevé puisqu'il est d'environ 30s d'arc dans les meilleures conditions [Haber et Hershenson, 1973], alors qu'il est d'environ 1° pour le système auditif [Mills, 1972]. Cela porte déjà à suggérer que la vision aurait tendance à supplanter l'audition pour la situation dans l'espace.

Au niveau le plus basique, il a été montré que la vision pouvait biaiser l'audition bien plus que l'audition ne pouvait biaiser la vision. En présentant simultanément des flashes de lumière et des pulsations sonores, pour différents écarts angulaires, [Bertelson et Radeau, 1981] ont relevé une délocalisation de la source sonore vers la source lumineuse (par exemple, le biais est d'environ 8° pour une séparation de 25°), En revanche aucun biais significatif de la vision par l'audition n'a été constaté. Dans un contexte quasi-réaliste, le biais peut être provoqué de façon plus subtile. Par exemple, Weerts et Thurlow ont étudié l'influence d'un élément visuel susceptible d'émettre un son. Durant l'expérience, des « clicks » étaient diffusés à l'aide d'un haut-parleur (HP) caché en face de l'auditeur, tandis qu'un autre, placé à 20° sur le côté, était visible mais inactif. Les auteurs ont noté que, dans certaines conditions, la délocalisation de la source sonore pouvait atteindre 9° dans la direction du HP visible [Weerts et Thurlow, 1971]. Toutefois, les sujets, pour qui se biais a été observé, savaient que plusieurs haut-parleurs cachés pouvaient émettre des sons simultanément et que le résultat serait un son provenant probablement du HP visible. L'attente de l'observateur peut donc avoir un grand impact sur le jugement de la position spatiale. C'est pour cette raison que, durant des expériences de localisation auditive, il est nécessaire de prendre un soin particulier de cacher tout système de reproduction. De manière générale, il semblerait qu'il existe une forte tolérance au désaccord spatial entre stimuli visuels et auditifs en situation naturelle. À l'extrême, une réelle fusion perceptuelle entre image et son peu se produire. Chacun de nous a fait un jour l'expérience de ce que l'on appelle « *effet du ventriloque* », en regardant la télévision ou en assistant à la projection d'un film au cinéma. La voix des acteurs semble vraiment provenir de leur bouche et non du système de diffusion.

En conclusion, comme le résume Chateau, des stimuli visuels et auditifs cohérents ainsi qu'une suggestion faite aux observateurs qu'il y a réellement cohérence favorisera la fusion perceptuelle et par conséquent augmentera la tolérance vis-à-vis de situations conflictuelles dans l'espace [Chateau, 1997].

À la lumière de cet exposé, il est difficile de remettre en cause la supériorité de la vision pour la localisation. Cependant, il ne faut pas oublier que le champ de vision est réduit au secteur frontal et qu'en dehors de ce champ, l'audition bénéficie, à son tour, d'une forme d'exclusivité. En effet, elles indiquent où regarder.

2.3. EXPLOITATION DU SON BINAURAL

Le son binaural a été traditionnellement utilisé pour simuler des environnements acoustiques tridimensionnels.

Néanmoins, les travaux portant sur l'utilisation du son binaural pour fournir des informations utiles à l'accomplissement d'une tâche interactive sont rares.

Dans cette section, nous présentons une sélection de ces travaux avec des exemples d'applications interactives dans un environnement virtuel.

2.3.1. SON 3D POUR L'INTERACTION EN ENVIRONNEMENT VIRTUEL

Les travaux de recherches existants et publiés sur l'utilisation de son dans les applications interactives sont limités et récents. Le son 3D peut être utilisé dans les systèmes interactifs généralement pour améliorer la perception en environnement immersif, envoyer des alertes, permettre la détection et la localisation des cibles, ou pour assister l'utilisateur dans la manipulation et la navigation en environnement virtuel. La Figure 2.3 montre quelques applications du son 3D pour l'interaction en environnement virtuel.

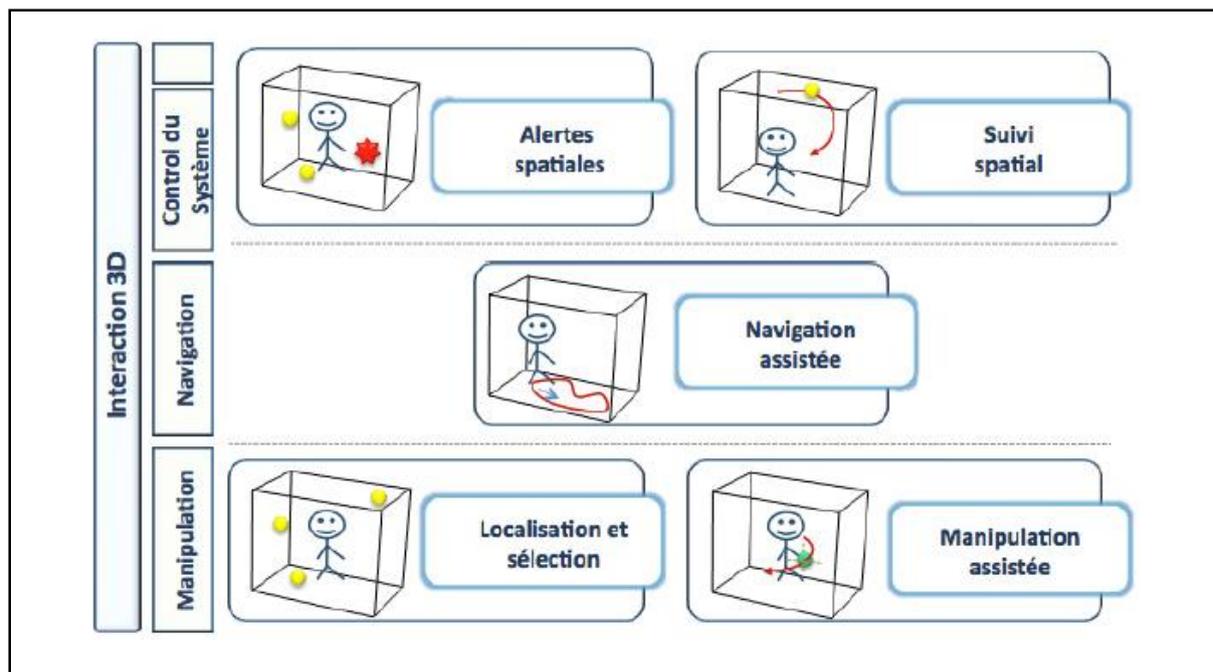


Figure 2.3. Différentes applications du son pour l'interaction 3D [Gonzalez, 2011]

Il existe quelques travaux de recherche sur le rôle du son 3D pour améliorer la perception. Hendrix et Barfield ont cité une étude sur l'effet d'une sélection d'indices sonores et visuels dans la sensation de présence en environnement virtuel [Hendrix et Barfield, 1995].

Larsson et al. ont étudié la directivité et la réverbération et leurs effets pour les sources sonores qui se déplacent dans l'espace [Larsson et al, 2008]. Selon cette étude, les auteurs ont conclu que la réverbération aide à la sensation de présence.

McKinley et al. ont étudié l'effet du son 3D pour la détection des cibles dans l'espace [McKinley et al, 1995]. Ce travail détermine qu'il existait une contribution significative du son 3D dans la détection de cibles.

Lokki et Grohn ont étudié l'importance et la contribution du son 3D pour la navigation en environnement immersif [Lokki et Grohn, 2005]. Ils ont trouvé que la combinaison entre le son tridimensionnel et le retour visuel apporte une amélioration significative de la performance de l'utilisateur dans la navigation. Nous allons ici présenter une définition pour l'environnement virtuel. Ensuite, nous présentons des

approches de localisation des sources sonores dans un environnement virtuel, ainsi que des applications existantes d'aide au déplacement et d'orientation.

2.3.1.1. ENVIRONNEMENT VIRTUEL

L'environnement virtuel permet à l'utilisateur de devenir un participant actif dans un monde virtuel et de lui donner un sentiment de présence dans un tel monde (sentiment d'être dans le lieu représenté par l'environnement virtuel plutôt que dans le lieu physique où se trouve l'utilisateur). Le nombre de modalités sensorielles à travers lesquelles l'utilisateur est couplé à l'environnement virtuel est le principal facteur contribuant à la sensation de présence [Loomis, 1992, Gilkey et Weisen, 1995].

2.3.1.2. LOCALISATION DES SOURCES SONORES

Le système auditif humain a une faible résolution pour la localisation de sources sonores [Durlach et al, 1993]. La précision de la localisation de sources virtuelles est normalement affectée par les caractéristiques du modèle de spatialisation employé. Il existe différentes approches pour améliorer la précision de la localisation de sources sonores dans un environnement virtuel.

Nous décrivons dans les paragraphes suivants certaines d'entre elles.

La localisation auditive supranormale est une approche proposée par [Durlach et al, 1993]. Elle est basée sur la modification contrôlée de la valeur du paramètre d'azimut de la HRTF employée en utilisant une fonction d'association (*mapping*). Ce travail est restreint aux sources sonores localisées dans le plan horizontal. Grohn et Takala ont présenté le projet nommé *MagicMikes* traitant de la sonification (La sonification se réfère à l'utilisation du retour audio non parlé pour transmettre une certaine information qui n'est pas auditive à l'origine) de données spatiales dans un contexte de navigation en environnement virtuel [Grohn et Takala, 1995]. Cette approche consiste à l'utilisation combinée du guidage auditif et de la spatialisation sonore. Grohn et al. ont présenté une étude pour évaluer la localisation sonore en environnement immersif avec un système multicanal [Grohn et al, 2002].

Marentakis et Brewster ont mis en place une expérimentation pour comparer différentes indications sonores afin d'améliorer l'efficacité de la localisation des sources sonores [Marentakis et Brewster, 2005].

Lokki et Grohn ont présenté une étude sur l'effet du guidage audio dans la performance pour la navigation en environnement virtuel [Lokki et Grohn, 2005]. L'évaluation de la performance est basée sur les mesures de temps d'exécution et la longueur des trajectoires entre autres, mais la précision angulaire n'a pas été prise en compte. Les auteurs ont trouvé que le guidage audio a un effet significatif sur la performance et qu'il est possible de naviguer en utilisant seulement le retour auditif. Ce travail a pris en compte la combinaison d'indices paramétrés et la spatialisation sonore pour améliorer la précision de localisation en élévation. Cette étude représente une contribution importante dans le domaine du son 3D. Cependant, les résultats obtenus ne permettent pas d'évaluer la précision dans la localisation des sources sonores.

La plupart des techniques existantes visent à améliorer la précision de localisation de sources sonores situées dans le plan horizontal. Les chercheurs utilisent la localisation des différentes sources sonores dans l'environnement pour trouver des solutions d'aide au déplacement.

2.3.1.3. APPLICATIONS D'AIDE AU DÉPLACEMENT ET D'ORIENTATION

Il y a plusieurs travaux effectués dont le but est de trouver des solutions d'aide aux déficients visuels. Ils ont pour objectif de restituer des fonctions assurées par le système visuel et dont l'absence peut engendrer un besoin chez les déficients visuels. Ils doivent fournir une information équivalente à celle fournie par la vision par l'intermédiaire d'une autre modalité sensorielle telle que l'audition. Parmi ces travaux, on note les systèmes d'aide au déplacement et d'orientation basés sur le son. Les premières idées d'expérimentation sur les aides au déplacement sont introduites dans les années soixante par Paul Bach-y-Rita [Bach-y Rita et al, 1969].

Les projets les plus actifs sont le PGS (*Personal Guidance System*) développé par l'équipe de Loomis et le SWAN (*System for Wearable Audio Navigation*) amélioré par l'équipe de Walker.

Le Swan :

C'est un projet développé par le département de psychologie du *sonification¹Lab. Georgia Institute of Technology* présenté par l'équipe de Walker et Wilson. Ce système a été développé pour fournir l'orientation et le déplacement. Il vise à guider les malvoyants à l'aide d'une présentation audio en utilisant la sonification spécialisée transmise via un casque stéréophonique à conduction osseuse. Ce système (Figure 2.4) présenté par [Wilson et al, 2007] doit permettre à l'utilisateur de connaître sa position et son orientation, pour trouver un chemin sécurisé pour amener le piéton jusqu'à sa destination.



Figure 2.4. SWAN : Système de navigation sonore [Wilson et al, 2007]

Le Swan utilise une interface qui présente des retours uniquement basés sur l'audio (utilisation des sons appelés 'balises sonores spécialisées') pour guider l'utilisateur sur son trajet. L'utilisateur guidé par un son virtuel répétitif pour améliorer la capacité de l'utilisateur à garder une trace de son emplacement actuel et sa

¹ La sonification se réfère à l'utilisation du retour audio non parlé pour transmettre une certaine information qui n'est pas auditive à l'origine.

prochaine destination. Lorsque l'utilisateur s'approche de la cible, la fréquence de répétition de la balise sonore s'accélère. Lorsque le point est atteint, un son indique le succès de la tâche puis la balise sonore est placée dans la direction du nouveau point à atteindre. Si l'utilisateur rate et dépasse un point à atteindre, le son souligne que le point est à l'arrière avec un changement du timbre de la balise sonore permettant de lever l'ambiguïté avant/arrière. L'utilisateur peut annoter des objets trouvés dans l'environnement, y compris les emplacements, les obstacles, ce qui pourrait inclure, par exemple un arrêt de bus. Les informations stockées dans la base de données SIG sont réalisées avec une combinaison *d'auditoryicon*, *d'earcons* spatialisés.

Les icônes auditives ont été présentées par [Gaver, 1986] comme « des sons du quotidien reliés à des événements informatiques par analogie avec les événements produisant ces sons ».

L'idée basique de ces icônes sonores est d'utiliser les connaissances de l'utilisateur basées sur l'écoute de tous les jours pour représenter ses actions au sein d'une interface. Les earcons sont des motifs sonores abstraits, synthétiques et souvent musicaux qui peuvent être combinés pour créer des grammaires sonores. Ils sont définis par [Blattner et al, 1989] comme des « messages sonores non verbaux utilisés dans les interfaces d'ordinateur pour transmettre des informations à l'utilisateur sur des objets, des opérations ou des interactions ».

Cette étude confirme qu'un guidage sonore virtuel est efficace pour la navigation.

PGS :

Le système PGS présenté par [Loomis et al, 1998] restitue les informations de guidage sous forme des instructions sonores spécialisées en binaural à travers un casque stéréophonique de telle sorte que les utilisateurs perçoivent les sons comme provenant d'un endroit précis de l'environnement.

Ce signal transmis est traité de façon directe par le cerveau et ne nécessite pas de traitement cognitif supplémentaire.

Le système PGS permet à l'utilisateur de savoir sa position avec un GPS différentiel². En plus de la balise GPS l'utilisateur porte un ordinateur (dans un sac sur son dos) qui contient un système d'information géographique permettant à l'utilisateur de se situer sur le trajet, de déterminer la route à suivre ainsi qu'un capteur d'orientation (boussole) permettant de connaître la direction dans laquelle il se dirige.

Loomis et al. comparent le mode de guidage sonore 'parole virtuel' avec trois autres modes de guidage plus classiques basés sur la parole dans des itinéraires planifiés sur le campus de l'Université de Santa Barbara (Californie).

Dans le mode de guidage sonore « virtuel », la boussole est fixée sur le casque et se trouve donc sur la tête de l'utilisateur. Celui-ci entend une voix (énonçant le numéro correspondant au prochain point) provenant du point de réorientation vers lequel il doit se diriger. Lorsque l'utilisateur s'approche de la cible, l'intensité du son augmente, quand l'utilisateur rentre dans un cercle virtuel d'un rayon de 1.5 m autour du point de réorientation. Dans le mode « gauche/droite », la boussole est fixée sur le torse de l'utilisateur et permet de corriger la trajectoire empruntée en envoyant des signaux verbaux par l'intermédiaire du casque («gauche », « droite » ou « tout droit»).

Les résultats sur les temps de parcours indiquent que le meilleur mode de guidage parmi ceux testés est le mode 'virtuel' qui donne un temps de parcours inférieur aux autres. De plus, il est le mode préférable à utiliser.

Cette expérience montre la nécessité d'utiliser une boussole pour garder les informations concernant la direction empruntée par l'utilisateur.

² Différentiel : Pour ces systèmes, une station au sol, dont la position absolue est connue, calcule en permanence les corrections relatives à appliquer au signal GPS pour faire correspondre la position réelle avec la position calculé.

2.4. JEUX SÉRIEUX

Comme il y a des travaux ayant pour but de trouver des solutions d'aide aux utilisateurs, nous notons qu'il y a aussi des applications sous forme de jeux sérieux pour enfants ou adultes qui permettent à l'utilisateur d'apprendre et de s'entraîner sur l'utilisation de l'audition comme modalité principale de localisation. Dans ce contexte, nous allons définir un jeu sérieux et citer des exemples de jeux se basant sur le son.

2.4.1. DÉFINITION DES JEUX SÉRIEUX

Les jeux sérieux à but éducatif classique sont apparus dans les années 1970-1980 proposant une réelle formation qui ne s'adresse pas seulement aux enfants, mais aussi aux adolescents.

Vu le nombre important de domaines concernés, donner une définition exacte et précise d'un jeu sérieux ne serait pas facile. Néanmoins, nous avons choisi une définition simple et condensée de [J.Alvarez, 2007]. Ce chercheur définit les jeux sérieux comme « une application informatique, dont l'intention initiale est de combiner, avec cohérence, à la fois des aspects sérieux tels, de manière non-exhaustive et non-exclusive, l'enseignement, l'apprentissage, la communication, ou encore l'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo ».

Les jeux sérieux ont pour objectif d'apprendre, d'informer, d'expérimenter et de s'entraîner tout en jouant. Ils peuvent être appliqués dans plusieurs domaines, par exemple, militaires, gouvernementaux, éducatifs, des entreprises de soin de santé.

2.4.2. EXEMPLES DES JEUX SÉRIEUX

Il existe plusieurs travaux sur le son dans les jeux sérieux dont nous citons l'étude de [Melzer et al, 2010]. Ces auteurs ont montré que dans une situation multimodale³, l'homme peut exploiter simultanément le son ainsi que la vision. Par exemple, alors qu'il effectue une tâche principalement visuelle, le son permet de surveiller l'état de

³ Multimodale : désigne la contribution de plusieurs modalités pour interagir avec un objet dans l'environnement.

tâches se déroulant en arrière-plan. De ce fait, le son permet de diminuer la charge du canal visuel tout en améliorant les performances lors de situations de multitâches.

Les chercheurs se sont penchés vers la réalisation d'*AudioWorld* (figure 2.5), qui est une application ludique visant à exploiter principalement la modalité sonore pour localiser des objets dans une scène. Le son, étant le principal moyen de déplacement et d'orientation. Par l'usage de leur habileté sonore, les joueurs naviguent dans l'espace pour localiser des objets émettant des sons. '*Audioworld*' concerne la localisation de sons répartis dans un tableau 2D. Ainsi, il nécessite une utilisation binaurale afin de trouver la direction et la distance d'un objet cible. Les joueurs doivent éviter tout son étrange ou distrayant afin de pouvoir se focaliser sur le son cible. En outre, le joueur doit gesticuler ou faire bouger son avatar afin de se déplacer vers la source cible tout en évitant les autres.

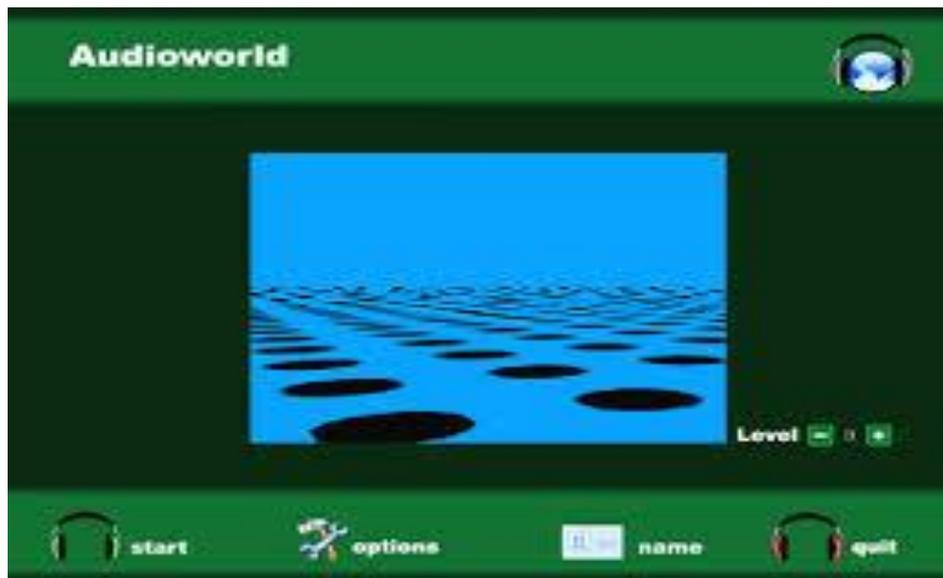


Figure 2.5. Interface de l'application AudioWorld [Melzer et al, 2010].

Dans le cadre de ces expériences, les auteurs ont évalué la différence pour un utilisateur entre localiser des sons d'instruments de musique et des informations vocalisées dans un environnement contenant ou pas un bruit de fond. En effet, ils ont émis l'hypothèse que des sons distrayants devraient rendre la localisation de la cible

plus difficile. Les résultats indiquent clairement une bonne acceptation d'AudioWorld au niveau du son par rapport à l'information verbale. Toutefois, aucune erreur significative ne fut observée concernant le temps de localisation de la cible entre les conditions évaluées.

Diverses applications basées sur le son ont été produites au cours des dernières années pour des enfants aveugles. Plusieurs de ces applications se concentrent sur le développement d'interfaces audio 3D pour représenter la totalité de l'espace environnant afin de montrer la pertinence de l'usage d'interfaces purement sonores. D'autres études ont investigués plus le développement des compétences cognitives des personnes aveugles en évaluant la facilité d'utilisation de ces applications. Toutefois, aucun travail ne s'est intéressé à l'utilisation de son spatialisé.

Pour cela, le système AudioBattelship présenté par Sanchez est un jeu interactif purement sonore ayant pour objectif d'améliorer la collaboration, la mémoire abstraite, l'abstraction spatiale et la perception haptique chez les aveugles [sanchez et al 2003]. AudioBattleship peut être joué en 3 modes : non-voyant vs non-voyant, non-voyant vs voyant et non-voyant versus un ordinateur. L'interface pour les non-voyants contient un retour sonore pour informer d'un emplacement spatial spécifique sur le conseil et certaines actions. Ce jeu est une application importante visant à entraîner les aveugles à faire des travaux individuels et améliorer leurs compétences par l'interaction avec le son.

Audio Doom est un jeu proposé par [Sanchez et Lumbreras, 1998] basé sur la sonore dans le but d'améliorer la navigation spatiale chez les enfants. Ce jeu permet à l'utilisateur de naviguer dans un labyrinthe dans le but d'arriver à la sortie en évitant le monstre. Il vise à pousser le joueur à mémoriser le chemin et l'emplacement des portes et des monstres. Les auteurs ont constaté que les enfants non-voyants l'ont trouvé très agréables comme jeu.

2.5. CONCLUSION

Le son binaural est important en environnement virtuel. De même, le système auditif joue un rôle majeur pour localiser les différentes cibles de l'environnement, mais selon les études, l'usage de son 3D est limité dans la population en général.

Malgré son importance, nous constatons que le système auditif humain a une faible résolution pour la localisation de sources sonores dans l'espace selon (N. I. Durlach et al. [1993]), également, il n'y a pas beaucoup des travaux d'apprentissage permettant d'améliorer la capacité de localiser la provenance d'une source sonore dans l'environnement.

CHAPITRE 3

CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT

3.1. INTRODUCTION

Ce chapitre traite la conception et le développement du jeu sérieux. La phase de conception fait l'objet des deux prochaines sections, et par la suite, nous traiterons le développement du jeu.

3.2. APPROCHE THEORIQUE ET CONCEPTION DE NOTRE JEU

L'objectif de notre jeu est de permettre aux gens d'apprendre la localisation de son donc nous voulons exploiter un *Framework* de conception de jeux sérieux centré sur l'apprentissage. A cet effet, le *Framework* qui a retenu notre attention est celui de [Bertrand et al, 2011] intitulé "motivation et apprentissage grâce aux facettes du jeu sérieux". Dans ce qui suit, nous décrivons comment ces facettes nous ont permis de concevoir un jeu qui a priori devrait garantir l'atteinte des objectifs pédagogiques. Nous constatons qu'il y a essentiellement six facettes pour la conception des jeux centrés sur l'apprentissage (figure 3.1). Alors une description des six facettes sera présentée.

1. Les objectifs pédagogiques
2. La simulation du domaine
3. Les interactions avec la simulation
4. Les problèmes et la progression
5. Le décorum
6. Conditions d'utilisation

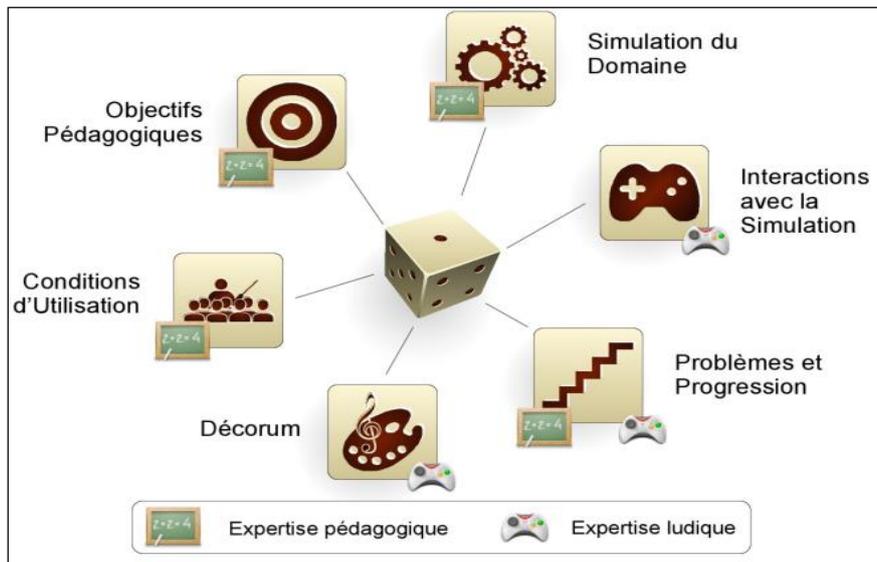


Figure.3.1. Les 6 facettes du jeu sérieux [Bertrand et al, 2011]

3.2.1. FACETTE 1 : les objectifs pédagogiques

Tout d'abord, les objectifs pédagogiques du jeu constituent la première étape de conception. Cette facette de conception a pour but d'améliorer les connaissances et les acquis du joueur afin d'assimiler certaines notions et attitudes. Dans notre cas, l'objectif pédagogique est de permettre aux gens de connaître la direction de son ambiant.

3.2.2. FACETTE 2 : la simulation du domaine

Les jeux sérieux ayant un objectif d'apprentissage sont toujours fondés sur une simulation du domaine à enseigner. Cette facette vise à matérialiser ce domaine dans un contexte de jeu. Le domaine visé par l'objectif défini précédemment est « la détection de la direction de source sonore ». Le fait de connaître la direction d'un son n'est pas une chose compliquée. C'est une tâche qu'on peut exploiter tous les jours. On va choisir une scène qui correspond à une situation quotidienne. Il faut utiliser

une interface attrayante et significative. Sachant que les jeunes qui seront intéressés à exploiter notre application, sont pour certains d'entre eux des habitués des resto-bar, donc nous avons retenu un bar virtuel comme scénariode déroulement de notre application.

3.2.3.FACETTE 3 : Interaction avec le modèle

Cette facette représente le niveau de jouabilité déterminant les fluidités dans la relation entre l'action (joueur) et la réaction (système). À partir de cela, on peut définir le type de jeu. À ce niveau, on cherche comment on peut donner du plaisir au joueur en lui permettant de formuler ses propositions et recevoir les réponses de la simulation. Pour cela, nous voulons concevoir un jeu de type FPS (*First Person Shooter*) afin que la personne puisse être immergée dans ce milieu.

3.2.4.FACETTE 4: les problèmes et la progression

Cette facette porte sur la progression dans le jeu à savoir comment seront présentés les problèmes à résoudre. L'objectif est de trouver le bon compromis qui permettra à tous moment que le niveau de difficulté ne soit ni trop faible ni trop élevé. En effet, une trop grande facilité risque de faire croire au joueur qu'il est très habile et de ce fait il n'a plus besoin de le pratiquer. De la même manière, une difficulté trop importante risque de le décourager. Pour cela et afin que la personne puisse s'amuser et s'épanouir dans l'ambiance du jeu, on doit échelonner le jeu en plusieurs niveaux de difficultés croissantes du plus simple au plus compliqué. Ceci permettra de faire progresser le joueur, de le motiver, de l'adhérer au jeu et de créer chez lui l'envi de rester devant l'écran et de participer activement.

La version actuelle de notre jeu comporte deux niveaux. Dans le premier niveau, on lance des verres au joueur que ce dernier doit attraper. Ici, les verres ne peuvent provenir que de deux directions : droite ou gauche. Dans le second, le joueur se met dans la position d'un serveur et de ce fait se retrouve au beau milieu d'une salle où il doit prendre des commandes. Ici, les sons peuvent provenir de n'importe quelle direction sur les 360 degrés.

3.2.5.FACETTE 5: le décorum

Le décorum permet d'équilibrer la motivation et l'apprentissage. En fait, il est constitué par les nombreux éléments qui vont amener un amusement au jeu dans le but de pousser le joueur à atteindre l'objectif recherché.

Pour garantir le côté distrayant, il faut que notre jeu contienne à la fois les productions graphiques et sonores soutenant la motivation. Nous avons adapté cet aspect à notre jeu sérieux pour apporter l'effet cherché, afin de motiver notre joueur. Pour le premier niveau, le fait de bien identifier la direction d'un son, donc la réussite, se récompense par un verre de bière bien rempli, alors que l'échec se traduit par le bruit d'un verre qui se brise.

3.2.6.FACETTE 6: Les conditions d'utilisation

Cette facette dépend du contexte d'utilisation et de la conception pour l'intégration des éléments d'apprentissage. Sachant que ce jeu est conçu pour l'entraînement, il nous paraît essentiel que les utilisateurs puissent l'exploiter dans différentes conditions. À cet effet, nous en avons fait un jeu casual, alors son utilisation sera simple et facile, en effet, on va proposer une liberté d'accès afin que chaque personne puisse l'utiliser sur son téléphone mobile, ordinateur ou tablette en se dotant d'un casque et voir les différents types des rendus.

3.3. LIGNES DIRECTRICES DE LA CONCEPTION

Au delà des facettes identifiées, il nous paraît important de respecter un certain nombre d'éléments clés qui permettront d'arriver à un jeu adapté à nos besoins. Ces éléments identifiés sont :

1. Le choix de défis adaptés au joueur
2. La conception d'interface
3. La production de composantes visuelles et auditives pour l'entraînement

4. L'implémentation d'un mécanisme pour assister le joueur correctement et permettre de contrôler le niveau de difficulté du jeu.

3.3.1. DÉFIS ADAPTÉS

Pour s'assurer que le jeu sérieux soit efficace et permettant d'atteindre les objectifs d'apprentissage fixés, les défis qu'il propose doivent être adaptés aux besoins et ressembler au monde réel. Pour cela, il faut prendre d'avantage les connaissances qu'a les gens du monde extérieur. Ceci pourra être très utile pour faciliter l'assimilation d'un concept ou d'une idée. Cela est fondé généralement sur des représentations visuelles se rapportant au quotidien ou à des tâches ou des objets de la vie réelle. Nous devons prendre en considération le nombre d'étapes et le flow adaptés.

3.3.1.1. NOMBRE D'ÉTAPES

Un des premiers moyens pour adapter un défi reste le nombre d'étapes proposées. Il faut en effet que le nombre d'étapes soit suffisant et bien déterminé afin de bien entraîner et développer les capacités auditives du joueur. D'autre part, le nombre d'étapes ne doit pas être élevé afin de ne pas surcharger le joueur et lui permettre de se concentrer sur l'atteinte du but principal du jeu.

C'est dans cet état d'esprit que nous avons proposé deux niveaux d'entraînement, le premier est un niveau facile pour comprendre facilement le jeu et le deuxième niveau plus difficile pour l'entraînement en laissant le choix au joueur de rester plus longtemps dans le niveau et rejouer ou changer de niveau.

3.3.1.2. FLOW

Pour garantir le succès et atteindre le but désiré, il faut immerger le joueur dans ce qu'il fait, en ayant une concentration optimale. Il est important que la personne éprouve un sentiment d'engagement total, car il a besoin de se concentrer sur les éléments sonores dans le jeu pour bien détecter les directions des sources sonores. Nous allons évoquer le flow dans notre jeu pour pousser le joueur à bien profiter de chaque élément dans notre jeu que se soit visuel ou sonore. D'après notre hypothèse, les éléments présents de côté sonores peuvent nous apporter l'effet

désiré s'il est bien exploité. Le nombre d'étapes bien déterminées dans notre jeu est l'une des garanties de flow.

Dans cette partie, nous venons de voir combien on a besoin de faire attention au nombre d'étapes d'une tâche et à la zone de « flow » d'un individu pour mettre au point un défi dans le cadre d'un jeu sérieux.

Dans la section suivante, nous allons citer des lignes directrices relatives à l'interface et aux mécanismes d'interactions.

3.3.2. INTERFACE ET MÉCANISMES D'INTERACTION

Après l'analyse de plusieurs jeux, nous avons constaté que pour implémenter une interface convenable dans le contexte de notre jeu, nous devons prendre en considération la légèreté de l'interface ainsi que l'aspect multimodal.

3.3.2.1. INTERFACE LÉGÈRE

Nous avons choisi une interface légère pour rendre la détection de son dans l'environnement plus facile et garantir le succès. En effet, ce que demande notre jeu comme démontions de l'espace, car dans un environnement ouvert la détection d'un son très loin des oreilles de la personne sera difficile.

3.3.2.2. ASPECT MULTIMODAL

Les applications de Réalité Virtuelle (RV) offrent aux utilisateurs d'interagir comme dans la vie de tous les jours, mais avec des environnements numériques artificiels. On peut donc intégrer plusieurs modalités ensemble comme visuelle, audio, haptique. Les nouvelles technologies ont intégré ce besoin de multi-sensorialité pour aider les utilisateurs à manipuler les interfaces ou pour rendre leurs actions plus naturelles et rendre la tâche plus facile et plus efficace.

Nous avons essayé d'adapter cet aspect à notre jeu sérieux pour apporter l'effet recherché. Nous espérons immerger l'utilisateur dans notre jeu à travers le visuel et surtout la sonore. Cet aspect s'appuie sur l'interaction avec le jeu. Il doit être présent et prendre en considération lors de la création de notre jeu, car c'est l'un des outils pour atteindre notre objectif. Dans cette section, nous avons présenté l'utilisation

d'interfaces légères et du multimodal pour un jeu sérieux. Nous verrons maintenant d'autres lignes directrices portant sur les composantes visuelles et auditives du jeu sérieux.

3.3.3. COMPOSANTES VISUELLES ET AUDITIVES

Le but de notre jeu est d'entraîner l'utilisateur à exploiter sa perception auditive. D'où le jeu est basé principalement sur les retours sonores. Toutefois, le visuel joue aussi son rôle dans la création de jeu. Alors il faut que le jeu contient deux principales composantes. Ces dernières sont la visuelles et l'auditive.

3.3.3.1. COMPOSANTES VISUELLES

Il est important de ne pas charger trop la scène afin d'assurer l'efficacité des composantes visuelles mises au point. Nous avons classé ces éléments selon des critères concordants avec notre application. Nous avons choisie la scène, la couleur et la luminosité comme les principaux axes du visuel dans le cadre virtuel.

a) Scènes

Pour atteindre notre objectif, la scène doit être bien étudiée. Nous avons opté pour une scène qui contient un nombre précis d'éléments. Il est préférable de créer des scènes de jeu simples qui ne sont pas surchargées d'informations, cela permet de trouver l'élément recherché, dans notre cas on veut laisser le son guider l'utilisateur à trouver les objets cibles dans l'environnement.

b) Luminosité

Dans un jeu 3D, après la mise en place les éléments et les composantes visuelles il est nécessaire de créer l'éclairage en choisissant les lumières utilisées et leur emplacement dans la scène. Il faut que la scène soit bien éclairée. La lumière est choisie selon l'environnement. Dans notre cas la lumière ne doit pas être très forte pour éviter les nuisances visuelles aux joueurs. Par ailleurs, elle ne doit pas être faible car l'éclairage faible peut donner un sentiment de stress et d'angoisse chez certains joueurs.

c) Couleur

Dans les jeux le visuel attire plus l'utilisateur que le son, donc il faut éviter d'utiliser des couleurs vives qui attirent l'attention du joueur et les remplacer par des couleurs sombres pour laisser le joueur se concentrer sur les retours sonores afin de bien répondre aux objectifs du jeu.

Nous venons de citer les différentes étapes de la conception visuelle dans un jeu sérieux en prêtant une attention particulière à la simplicité des scènes, aux couleurs et à la luminosité.

3.3.3.2. COMPOSANTES AUDITIVES

L'audition est le deuxième canal le plus utilisé par l'être humain pour s'informer après le visuel. Contrairement à la vision, il est omnidirectionnel. Il reste difficile de bien déterminer la position et la direction du son dans l'environnement, donc on a choisi des sons répétitifs pour donner plus de temps à l'utilisateur pour qu'il tourne sa tête dans l'espace et pour qu'il localise le son [Cheveigné, 2003]. Le volume sonore est également à prendre en compte dans le jeu. Il doit aussi éviter tout son étrange ou distrayant afin de pouvoir se focaliser sur le son cible.

Finalement, on constate que l'usage du 3D pour représenter le monde virtuel est souvent utilisé dans la création des jeux. Nous proposons donc d'implémenter un jeu sérieux en respectant à la ligne directrice présentée précédemment.

3.4. DÉVELOPPEMENT D'UN JEU SERIEUX

Nous avons vu précédemment des lignes directrices pouvant nous permettre de développer un jeu sérieux qui répond à nos besoins. Dans cette partie, nous présentons l'implémentation d'un jeu sérieux inspiré de la vie quotidienne afin de tester l'effet de l'ajout de l'interface sonore sur le développement des capacités auditives. Pour ce faire, nous établirions d'abord le contenu du jeu. Ensuite, nous allons décrire l'interface et les différents éléments utilisés.

3.4.1. DÉFI

Les défis proposés sont la simplicité de notre scène et l'implémentation des rendus binauraux. Nous avons décidé de prendre comme défi la localisation de la direction d'un son. Nous avons développé un jeu à deux niveaux l'un plus simple que l'autre.

Le premier niveau avec un défi simple se matérialise au travers du comptoir d'un bar où le joueur est amené à localiser la direction d'un verre qui lui est lancé. L'objectif est de répéter la scène en faisant varier aléatoirement la direction de provenance du verre afin d'entraîner le joueur.

Le deuxième niveau avec un défi plus complexe se matérialise dans une salle de bar où le joueur a le rôle d'un serveur qui va localiser la direction de provenance du son dans la salle. Nous avons développé notre jeu avec unrealengine 4.8.0 un moteur de jeu tridimensionnel.

3.4.2. JEU PROPOSÉ

Sachant que notre jeu est un jeu sérieux qui permet d'entraîner les gens à développer leurs capacités auditives, il faut commencer par une scène simple avec un niveau de jeu facile. Après, pour améliorer de plus en plus les capacités nous avons décidé de créer un deuxième niveau de jeu plus compliqué.

La figure 3.2 représente la plateforme d'accueil qui permet au joueur de choisir son niveau de jeu comme elle lui permet de quitter le jeu.



Figure 3.2. Plateforme d'accueil

3.4.2.1. NIVEAU DE JEU FACILE

Pour commencer le jeu, il faut passer par le niveau le plus facile afin de comprendre mieux le mécanisme de ce jeu et d'entraîner les capacités. Nous avons intégré les éléments visuels et auditifs nécessaires pour le déroulement de cette partie. La figure 3.3 montre l'environnement virtuel de cette partie. Une caméra est placée en angle de façon à bien centrer le joueur au milieu de la table.

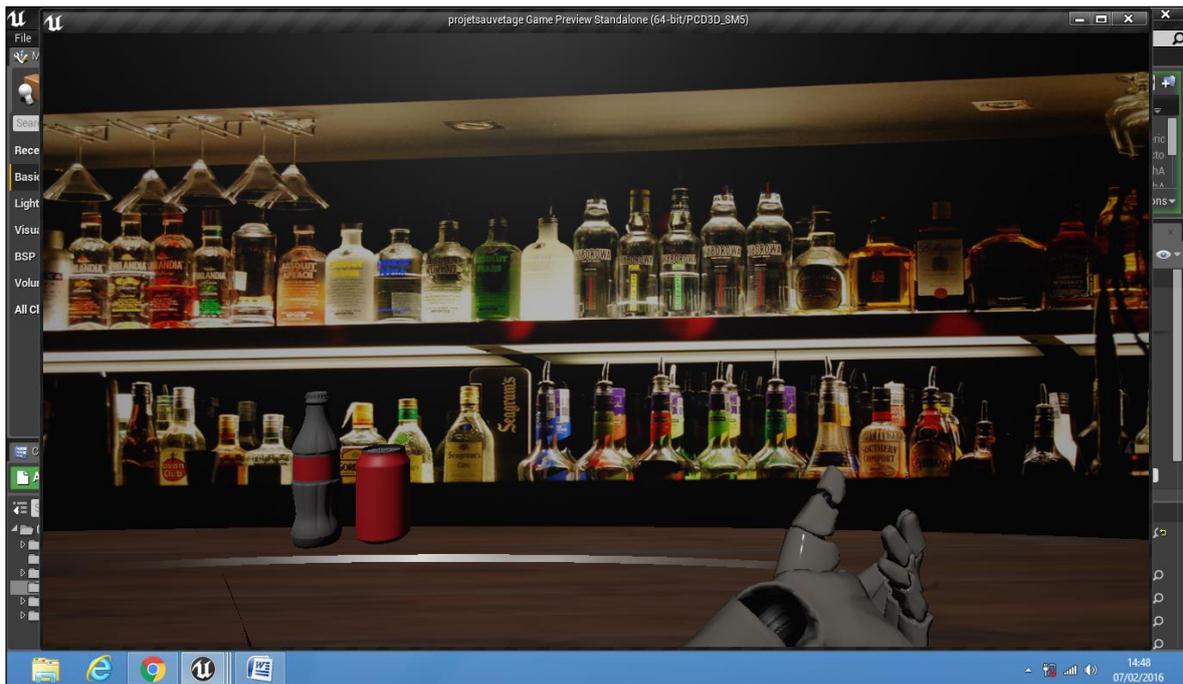


Figure 3.3. Scène principale du niveau 1

a) Déroulement de la partie

Cette partie se déroule dans un bar où le client est en train de boire un verre la nuit après une longue journée fatigante. Ici le serveur décide de jouer avec ce client. Le jeu se déroule à travers le comptoir où le client est amené à localiser la direction du son émis par un verre qui lui est lancé. Chaque verre attrapé lui sera offert gratuitement.

L'objectif est de répéter la scène en faisant varier aléatoirement la direction de provenance du verre ou de la cible. Il faut que le joueur ferme les yeux et utilise le son du frottement du verre sur le comptoir comme repère pour déterminer la direction de l'objet s'il est bien à droite ou à gauche.

b) Actions

Le joueur peut décider lui-même du moment de lancement des objets en appuyant sur le bouton gauche de la souris. À chaque essai la direction de verre varie aléatoirement à gauche ou à droite, par la suite le verre lancé est totalement invisible. Le joueur peut tourner la tête à gauche ou à droite pour chercher la direction de provenance du son de cet objet. Quand l'objet atteint sa position finale,

le joueur tend sa main en direction du verre pour l'attraper. Si c'est le cas une animation de sucée sera affichée (Fig.3.4). Si au cas contraire le verre est raté une animation d'échec sera signalée comme présenté à la figure.3.5.



Figure 3.4. Animation de sucées



Figure 3.5. Animation d'échec

3.4.2.2. NIVEAU DE JEU DIFFICILE

Pour avancer dans le déroulement du jeu, on a proposé un niveau plus difficile pour lancer un entraînement avancé. Nous avons intégré des éléments visuels et auditifs distinct de ceux du premier niveau.

La figure 3.6 montre l'environnement virtuel de cette partie. Une caméra est placée à l'angle de façon à ce que le joueur soit au milieu de la salle et les tables décrivent un cercle tout autour.



Figure 3.6. Scène principale du niveau 2

a) Déroulement de la partie

Cette partie aussi se déroule dans la même salle de bar mais avec une mise en scène différente. Ce niveau de jeu contient plus d'éléments distribués dans l'environnement. Cette fois le serveur est au milieu du bar, les tables seront distribuées autour de lui et équidistantes du serveur mais à des emplacements différentes. L'objectif du joueur est de détecter la source sonore en se tournant vers la table sachant que la salle contient 8 tables.

b) Action

Le joueur décide lui-même le temps de début du jeu chaque fois en cliquant sur le bouton droit de la souris. Après il aura besoin de pivoter ou tourner la tête seulement autour de lui en tournant la tête à droite et à gauche pour détecter la source du son tel que présente la figure 3.7. Le joueur a droit à 3 essais pour trouver sa cible en cliquant sur le bouton gauche de la souris. S'il réussit de trouver la cible un signal sera allumé tel que montré dans la figure 3.8 avec un retour sonore qui indique le succès. À chaque échec, un son indique que la cible n'est pas atteinte. Pour chaque réussite le score augmente pour atteindre le résultat final.

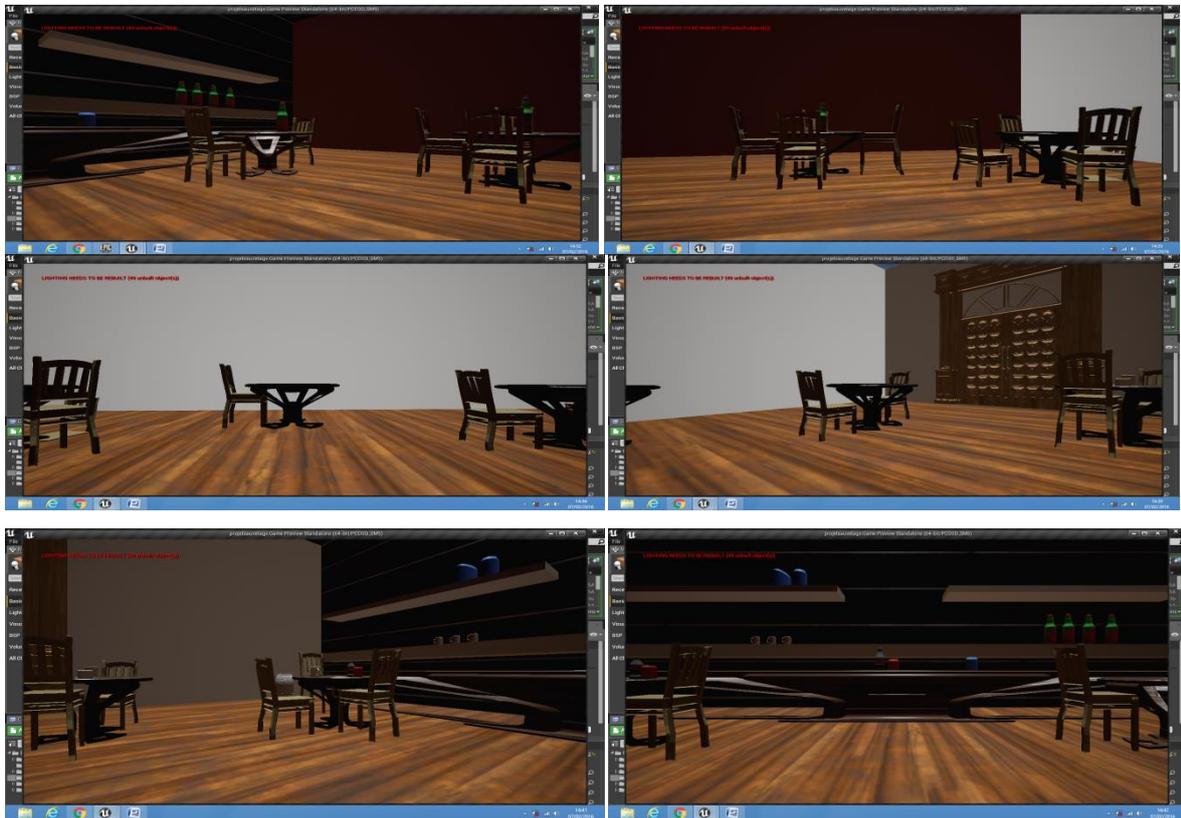


Figure 3.7. Différents angles du camera.

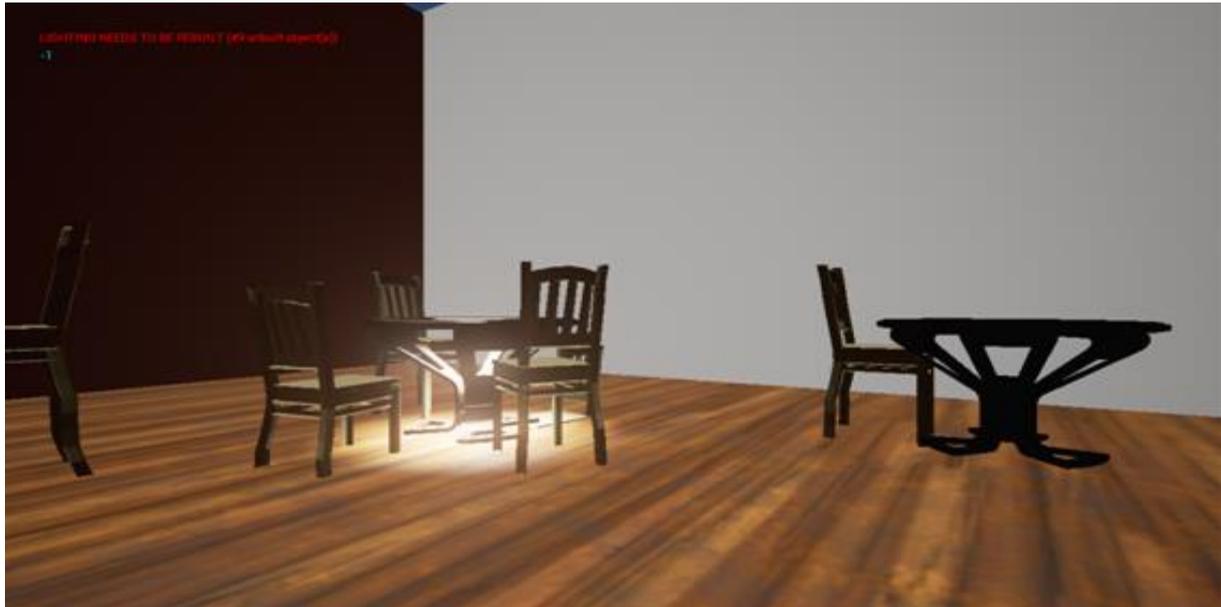


Figure 3.8. Cible trouvée

3.5. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons cité une approche théorique et des lignes directrices pour mettre au point un jeu pour entraîner les gens à développer leurs capacités auditives. Ensuite, nous avons présenté notre implémentation d'un jeu sérieux en trois dimensions suivant des lignes directrices. Dans le chapitre suivant, nous présenterons notre protocole expérimental ainsi que nos résultats.

CHAPITRE 4

EXPÉRIENCE ET ANALYSE DES RÉSULTATS

4.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous détaillerons l'expérimentation que nous avons menée, suite à l'obtention d'un certificat d'éthique, dans le but de développer les capacités auditives des joueurs. Nous y présenterons les caractéristiques de nos participants, la description de notre expérience ainsi que les résultats que nous avons obtenus.

4.2. PARTICIPANTS

Au total, 15 personnes ont pris part à notre expérience. La figure 4.1 présente la répartition de nos participants par leur identité de genre. 3 des 15 participants, soit 20% étaient des femmes et le reste des hommes.

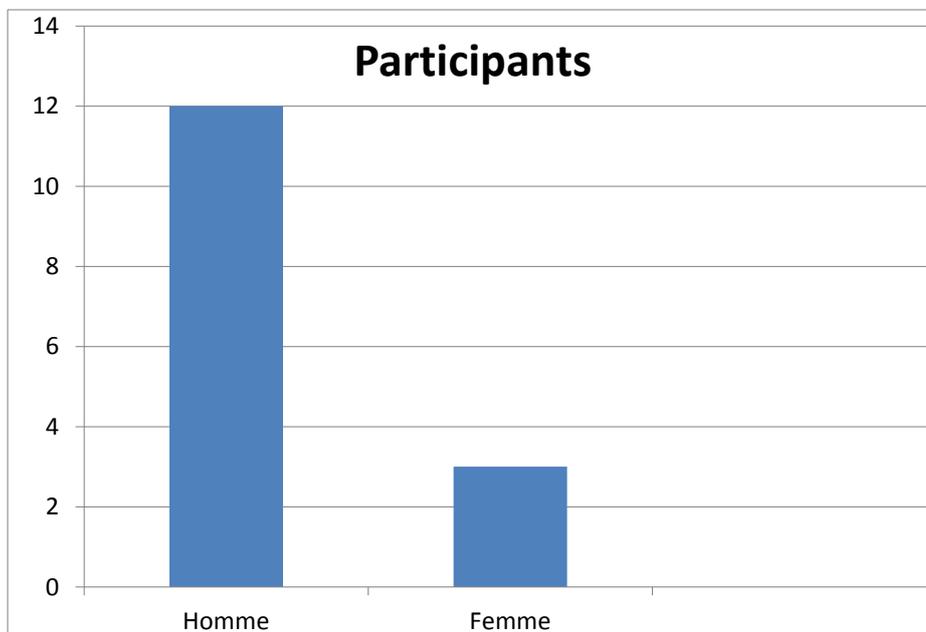


Figure 4.1 : Répartition des participants par genre

La figure 4.2 présente la répartition de nos participants par groupe d'âge. Les participants étaient tous des individus en bonne santé âgés de 22 et 40 ans. Les tranches d'âge sont réparties comme suit : 22-25, 26-30, 31-35, 36-40

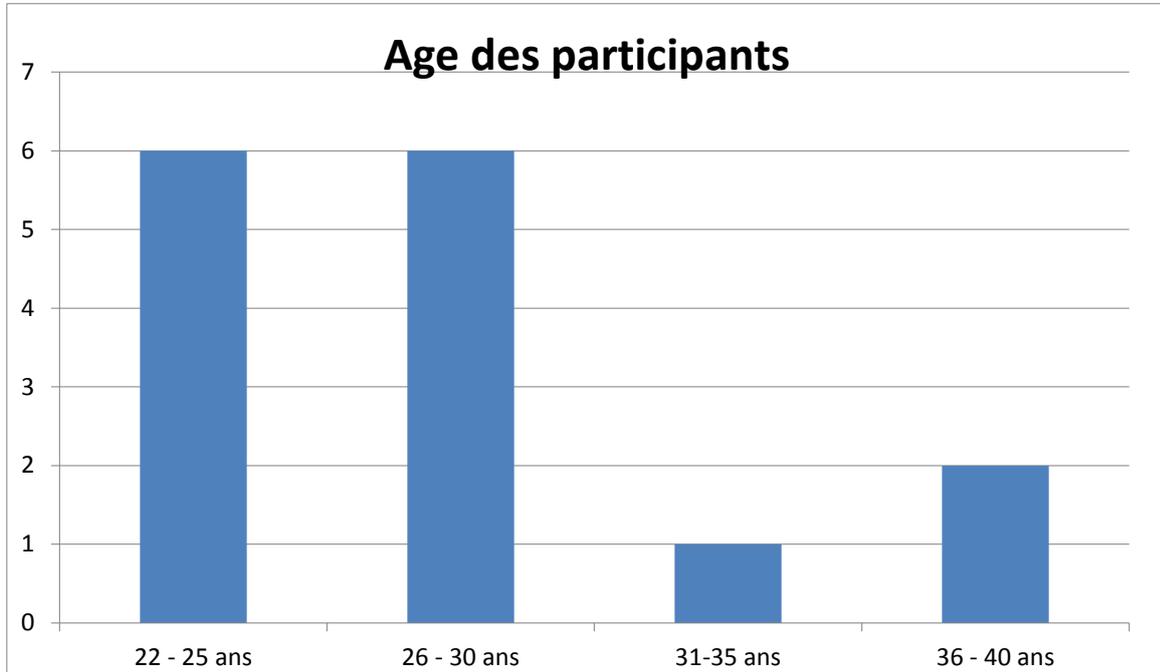


Figure 4.2. Répartition des participants par groupe d'âge

La figure 4.3 présente la répartition de nos participants selon leur occupation. Au total, 93.33% de nos participants étaient des étudiants ou étudiantes à l'Université au Québec à Chicoutimi (UQAC) au moment des tests.

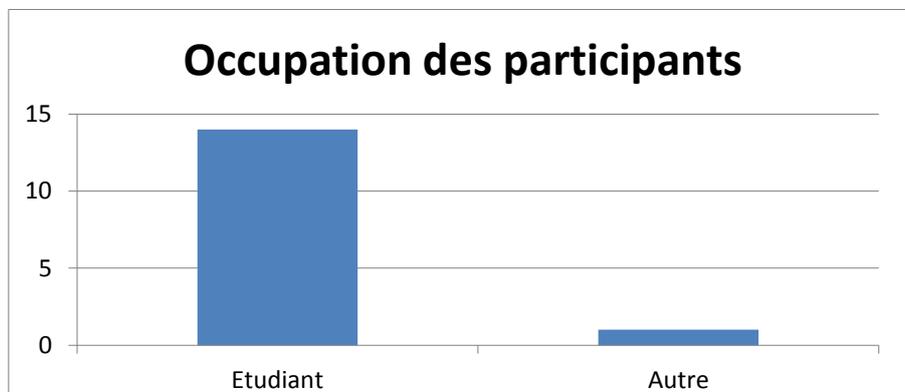


Figure 4.3. Occupation des étudiants ayant participé à l'expérience

Certains de nos participants sont plus habitués à manipuler des jeux vidéo et cela aurait pu avoir un impact sur nos résultats. Nous avons vérifié avec eux leur implication et leur niveau de contact avec ceux-ci. Les figures 4.4 et 4.5 montrent sur la base de notre formulaire de pré-test le Niveau de contact des participants avec les jeux vidéo et leurs expériences avec la réalité virtuelle.

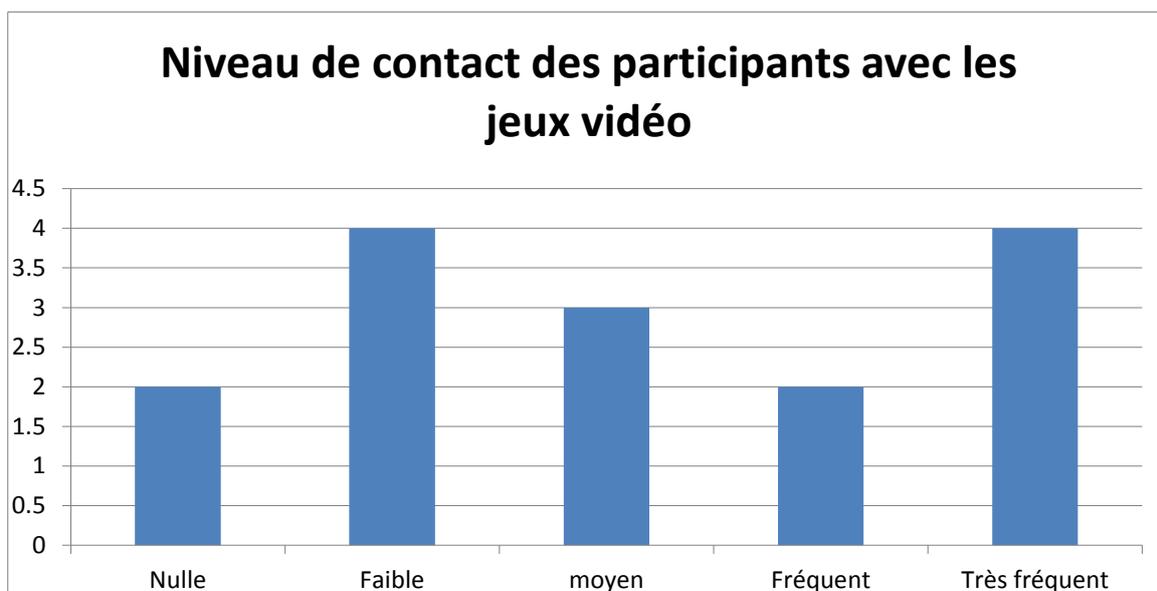


Figure 4.4. Niveau de contact des participants avec les jeux vidéo

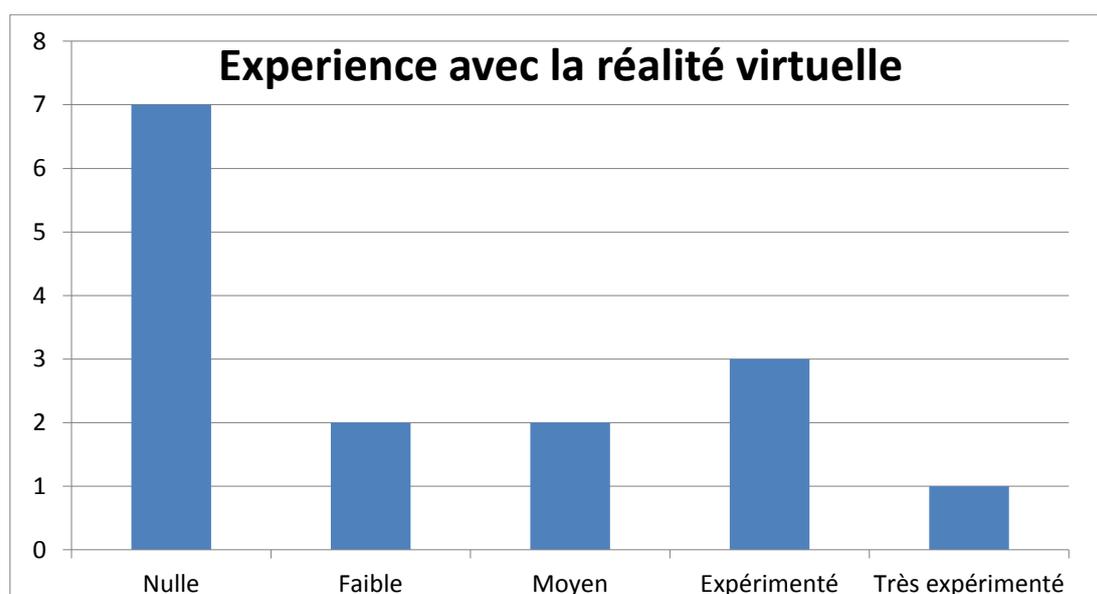


Figure 4.5. Niveau d'expérience des participants avec la réalité virtuelle

4.3. EXPÉRIENCE

Nous avons conduit en mars 2016 une expérience utilisant le jeu sérieux développé afin de déterminer si l'entraînement aide les joueurs à développer leurs capacités à détecter la direction d'un son. Nous citerons dans cette section les détails de notre installation et de notre protocole expérimental.

4.3.1. MATÉRIEL

Le jeu sérieux a été testé à l'aide d'un ordinateur portable 15.6 pouce HD LED ayant une résolution optimale de 1366 par 768 pixels. Équipé d'un processeur Intel Core i5-2450M de 2.5 GHz, d'une carte graphique NVIDIA GEFORCE GT 525M et de 8 Go de RAM. Le système d'exploitation installé sur l'appareil était Windows 8 (x64) Professionnel. Un casque professionnel a également été branché à notre ordinateur. Par la suite, nous allons présenter le protocole expérimental que nous avons mis en place pour assurer que tous les tests soient faits sous les mêmes conditions

4.3.2. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

L'objectif de notre expérience est de récolter deux scores différents pour chaque niveau de jeu. Un score initial avant l'entraînement et un score final après l'entraînement. Ce test a pour objectif de vérifier s'il y a une variation du score du joueur après l'usage du jeu. Ainsi le test se déroule en quatre étapes supervisées par un évaluateur.

Durant la première étape, l'évaluateur explique en quoi consiste l'expérience. Puis le participant est invité à lire et à signer le formulaire d'information et de consentement. Le formulaire de pré-test est utilisé pour recueillir certaines informations (Annexe 1). Chaque formulaire est identifié par un code. Il est à noter qu'aucune donnée permettant d'identifier un participant ne sera sauvegardée. En effet, ce qui sera sauvegardé sera un numéro alphanumérique par participant. Les informations recueillies sont l'âge, l'identité de genre, l'occupation courante, le niveau de contact avec les jeux vidéo et le niveau d'expérience avec la réalité virtuelles selon une échelle établie. Le test passe ensuite à la deuxième étape.

Pour commencer la deuxième étape, le superviseur installe le participant à devant l'ordinateur pour tester le jeu sérieux et lui explique les contrôles à utiliser. Le participant doit faire trois tentatives de reconnaissance pour chaque partie. Ensuite, l'évaluateur établit le score. Par la suite, l'apprenant sera invité à faire 10 tentatives pour chaque niveau. L'évaluateur remplit la seconde partie de fiche d'identification avec les informations requises. Il indique notamment le nombre d'essais réussis sur dix. Les résultats obtenus sont enregistrés en tant que résultats initiaux.

Dans une troisième étape, l'apprenant est invité à jouer au jeu pendant dix minutes pour s'entraîner. Une fois les 10 minutes écoulées, on passe à la quatrième étape.

À l'étape finale du test, le participant doit faire encore dix tentatives pour chaque niveau. L'évaluateur remplit la fiche d'identification avec les informations requises. Il indique comme pour la deuxième étape le nombre d'essais réussis sur dix. Les résultats obtenus cette fois sont enregistrés en tant que résultats finaux.

Une fois le superviseur prend note de tous les résultats obtenus. Finalement, il remercie le participant pour sa présence et sa participation.

Après avoir détaillé notre expérience et recueilli les données, nous allons présenter les résultats obtenus.

4.4. RÉSULTATS OBSERVÉS

Pour notre expérience, nous avons effectué 15 tests à l'aide de notre prototype sur une période de 3 jours durant le mois de mars 2016. Tous nos participants ont testé le jeu tel que demandé. Dans cette section, nous présentons les données obtenues et l'analyse de ces résultats.

4.4.1. DONNÉES RÉCUELLIES

Les résultats obtenus pour les deux niveaux, représentent les seules données recueillies durant nos tests.

4.4.1.1. RÉSULTATS D'APPRANTISSAGE POUR LE PREMIER NIVEAU

En compilant les résultats des testes, nous avons obtenus deux différents scores pour chaque niveau. Ces scores peuvent varier entre 0 et 10. La figure 4.6 ci-dessous montre la comparaison de résultat initial (sans apprentissage) avec le résultat final (avec apprentissage) obtenu pour chacun des participants au premier niveau, puis la comparaison de la moyenne des scores de tous les participants.

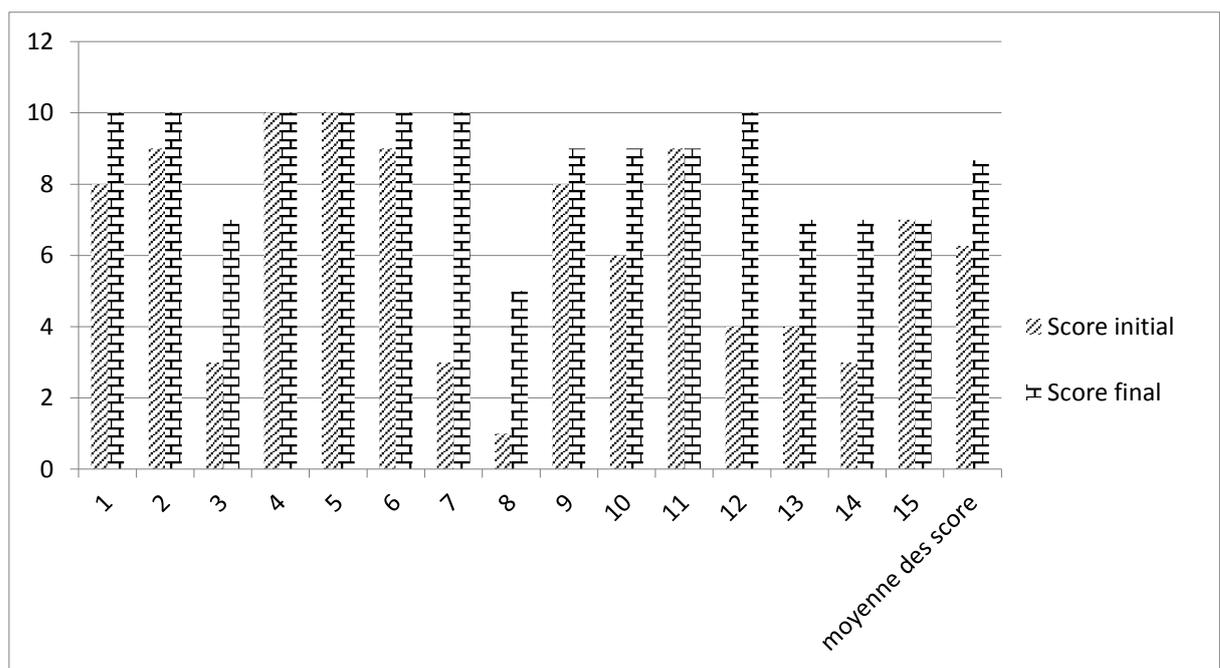


Figure 4.6. Comparaison des résultats pour le niveau 1

4.4.1.2. RÉSULTATS D'APPRANTISSAGE POUR LE DEUXIEME NIVEAU

La figure 4.7 ci-dessous montre la comparaison entre le résultat initial et le résultat final obtenu pour chacun des participants au deuxième niveau et la comparaison de la moyenne des scores de tous les participants. Les scores peuvent varier entre 0 et 10.

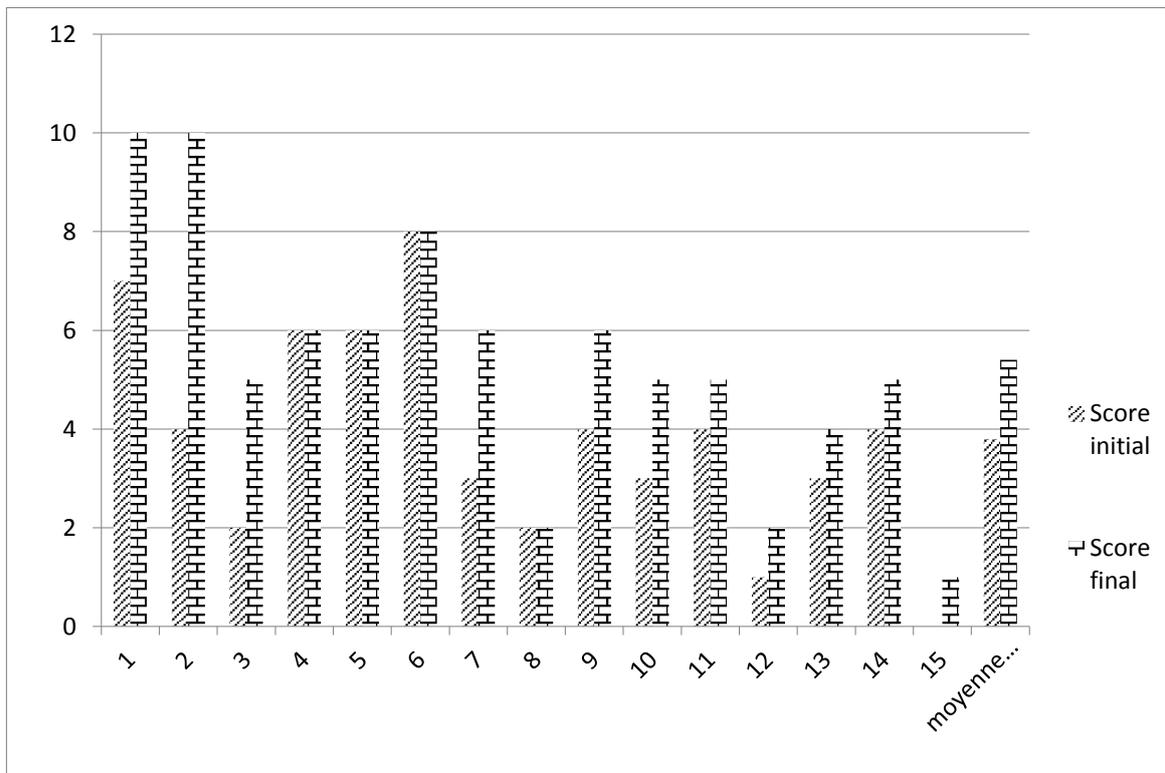


Figure 4.7. Comparaison des résultats pour le niveau 2

4.4.2.ANALYSE

Le but de cette section est de présenter une analyse des résultats recueillis et de discuter de leur signification. Après la collecte des données, notre premier constat est une augmentation globale des scores finaux pour l'ensemble de groupe des participants pour les deux niveaux. La figure 4.8 montre la moyenne des deux ensembles des scores, sur une échelle allant de 0 à 10.

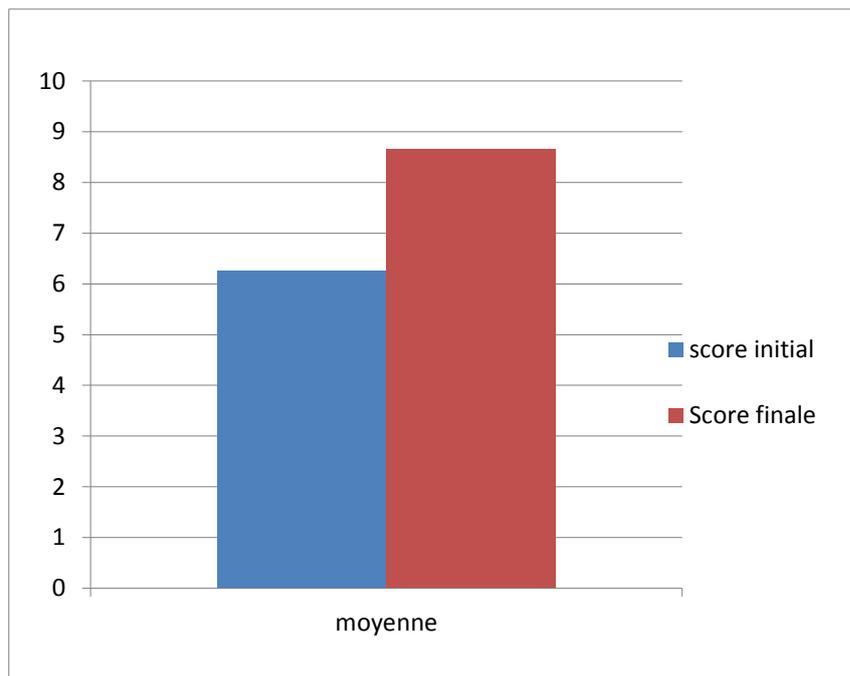


Figure.4.8. La moyenne des deux ensembles des scores de niveau 1

Après la comparaison des résultats obtenus au premier niveau on constate que la moyenne des scores augmente de 6.26 à 8.67 après une séance d'entraînement. Malgré que ces résultats montrent une amélioration, à ce stade nous ne pouvons pas conclure qu'il y a un développement des capacités de détection de la direction d'un son par ce que c'est un niveau facile et les résultats des essais initiaux ont montré une facilité de détection dès le début. Vu le taux élevés de bonne identification à ce niveau, il nous semble que ce scénario est assez facile à compléter. Ce résultat vient renforcer les autres études qui sont souvent pointées le

fait que l'identification des directions gauche et droite sont les plus aisées pour un humain.

Les données que nous avons obtenues pour le niveau suivant sont présentées dans la figure 4.9.

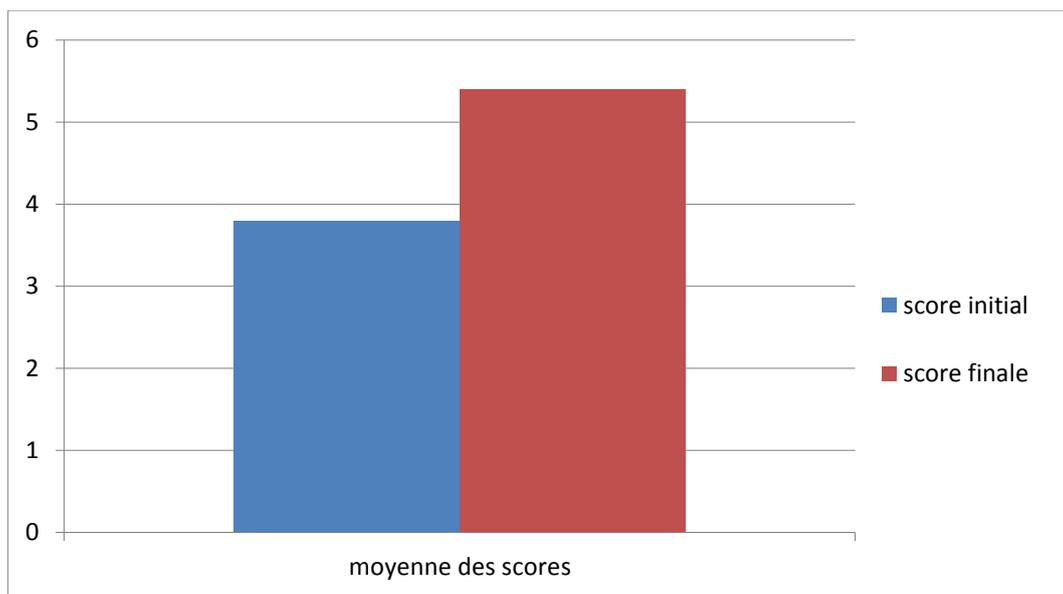


Figure.4.9. La moyenne des deux ensembles des scores de niveau 2

Après la comparaison des deux résultats obtenus au deuxième niveau, nous constatons que la moyenne des scores augmente de 3.8 à 5.4 après une séance d'entraînement. Malgré la difficulté du niveau 2 nous pouvons conclure qu'il y a une grande augmentation de la moyenne des scores. Nous constatons que les résultats obtenus au deuxième niveau ne sont pas en rapport avec d'autres facteurs (facilité, hasard). Cette constatation est due à la présence des plusieurs sources sonores (8) sur 360°.

Nous avons également constaté que le niveau de contact des participants avec les jeux vidéo influence légèrement sur les résultats obtenus. Cela laisse penser que les participants qui jouent souvent aux jeux vidéo ont des meilleurs scores que les

autres. Malgré tout, nous pensons que cette relation mériterait d'être étudiée plus en profondeur.

4.5. CONCLUSION

Ce chapitre a présenté notre approche expérimentale et l'ensemble de nos résultats. Dans la première partie, nous avons présenté les informations sur la répartition de nos participants, leur niveau de contact avec les jeux vidéo ainsi que leur expérience avec la réalité virtuelle.

Ensuite, dans la seconde partie du chapitre, nous avons détaillé notre installation et expliqué notre protocole expérimental. Enfin, à la troisième partie du chapitre, nous avons présenté l'ensemble des données récoltées au cours de notre expérience et l'analyse de ces données.

Le chapitre suivant conclura notre projet de recherche en présentant les objectifs réalisés, les limites de notre projet, les futurs travaux possibles et un bilan sur ce travail de recherche.

CHAPITRE 5

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le rendu multi-sensoriel peut grandement contribuer à augmenter l'authenticité et la plausibilité de l'environnement virtuel. Pour cette raison le rendu sonore binaural est plus en plus présent dans les environnements virtuels afin de les rendre plus immersifs. Leur présence peut désormais être observée dans plusieurs prototypes de jeu sérieux adaptés pour l'apprentissage et pour l'entraînement.

La principale intention de la recherche présentée dans ce mémoire était la suivante : pouvoir entraîner les gens à mieux percevoir les retours sonores à travers l'utilisation d'un jeu sérieux. Au chapitre 2, nous avons étudié le domaine du son et l'utilisation du rendu binaural pour l'interaction en environnement virtuel. Nous avons également étudié des exemples des jeux sérieux se basant sur le son. Nous avons, au chapitre 3, exploité un Framework de conception de jeux sérieux centré sur l'apprentissage. De plus, nous avons développé un prototype de jeu sérieux pour entraîner les gens à détecter les sources sonores. Enfin, au chapitre 4, nous avons mis en place la méthodologie de recherche que nous avons utilisée pour cette étude et nous avons présenté nos résultats et nos analyses. Dans la section suivante, nous présenterons les objectifs que nous avons établis pour ce projet au tout début du mémoire.

5.1. CONTRIBUTIONS

Le premier objectif dans le cadre de notre recherche était de faire une revue de la littérature pour étudier des exemples d'applications et des jeux sérieux dans le domaine du son 3D. Nous avons pu constater que les sons étaient utilisés dans les systèmes interactifs pour améliorer la perception en environnement immersif, envoyer des alertes, permettre la détection et la localisation des cibles, ou pour

assister l'utilisateur dans la manipulation et la navigation en environnement virtuel. Nous devons aussi, dans le cadre de cet objectif, identifier des jeux sérieux visant à exploiter principalement la modalité sonore. Néanmoins, ils nous ont permis de confirmer que l'usage d'un jeu sérieux peut aider à l'entraînement.

Le second objectif était d'établir un concept de jeu sérieux pour permettre aux gens d'apprendre la localisation de son. Nous avons exploité un Framework de conception de jeux sérieux en nous inspirant fortement de le Framework établies par Bertrand et al [Bertrand et al, 2011]. Nous avons mis au point des lignes directrices et nous en avons par ailleurs évité certaines qui pouvaient influencer l'immersion dans notre prototype.

Notre troisième objectif consistait à développer un prototype du jeu sérieux conçu précédemment pour pouvoir effectuer nos tests.

Finalement, notre dernier objectif consiste à valider le projet par le biais de tests afin d'évaluer si le jeu permet ou non d'améliorer les capacités de détection sonore des joueurs.

Nous verrons dans la prochaine section les travaux futurs et les limites.

5.2. TRAVAUX FUTURS ET LIMITATION

Malgré les résultats obtenus notre prototype souffre des quelques manques au niveau d'application, comme ajouter des personnages et d'autres animations à la scène pour rendre le jeu plus riche afin de bien créer l'amusement.

Un autre aspect de notre prototype à améliorer serait les contrôles à utiliser, nous pensons qu'il sera mieux d'intégrer une manette de jeu vidéo comme un outil de contrôle permettre de jouer. Nous croyons que ces changements pourraient améliorer l'indice d'immersion global du jeu et faire varier les résultats obtenus.

Également, les résultats de notre expérience tendent à démontrer qu'il y a des facteurs comme le niveau de contact avec les jeux vidéo influence sur les

scores obtenus. Dans ces cas, nous pensons qu'effectuer de nouvelles recherches avec un échantillon de participants plus large pourrait permettre de clarifier la relation qui existe entre ces éléments dans notre contexte. Également en tente de faire des autres testes avec une durée d'entraînement plus longues. Cette nouvelle série de tests permettrait de vérifier si les résultats auraient une plus grande variance.

Finalement, malgré que nous avons passé des testes sur un nombre limité des participants nous avons parvenu à accueillir des résultats fiables et nous avons atteint notre objectif initiale.

5.3. BILAN PERSONNEL DU TRAVAIL DE RECHERCHE

Pour conclure, j'aimerais faire un bilan sur mon initiation à la recherche scientifique. Mon parcours n'a pas été facile. Heureusement j'ai été tout au long du projet entouré par des gens qui m'ont encouragé et m'ont aidé. Cette expérience m'a permis de développer des compétences théoriques et pratiques qui me seront certainement utiles durant mon parcours professionnel surtout dans le domaine des jeux vidéo.

ANNEXE I

FEUILLE D'INFORMATION DU PARTICIPANT

Code : _____ **AGE :** _____

SEXE : F M **Occupation :** _____

Contact avec les jeux vidéo : Nulle Faible moyen Fréquent Très Fréquent.

Expérience avec la réalité virtuelle : Nulle Faible moyen Exp Très Exp

.

Résultat de l'apprentissage pour les 1 ères niveau :

- Résultat initial :

- Résultat final :

Résultat de l'apprentissage pour les 2 ères niveau :

- Résultat initial :

- Résultat final :

BIBLIOGRAPHIE

[Alvarez, 2007] Alvarez, J. 2007. Du jeu vidéo au serious game: approches culturelle, pragmatique et formelle, Université de Toulouse-le-Mirail.

[Bach-y Rita et al, 1969] Bach-y Rita, P., Collins, C. C., Saunders, F. A., White, B. et Scad-den, L. (1969). Vision substitution by tactile image projection. Transactions of the Pacific Coast Otorhinolaryngological Society annual meeting, 221(5184):83–91.

[Baranowski et al, 2003] Baranowski, T., Baranowski, J., Cullen, K. W., Marsh, T., Islam, N., Zakeri, I., de Moor, C. (2003). Squire's Quest! Dietary outcome evaluation of a multimedia game. American Journal of Preventive Medicine, 24(1), 52-61. doi:10.1016/S0749-3797(02)00570-6.

[Batteau, 1967] Batteau, D. (1967). The role of the pinna in human localization. In Proc. Roy. Soc, volume B168, pages 158–180.

[Batteau, 1968] Batteau, D. (1968). Listening with naked ear. In The neuropsychology of spatially oriented behaviour, pages 109–133. Dorsy Press.

[Begault, 1994] Begault, D. (1994). 3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia. Academic Press, Cambridge.

[Begault, 2005] Begault, D., Durand. 2005. 3D-Sound for Virtual Reality and Multimedia. USA: AP Professional.

[Berkhout et al, 1993] Berkhout, A. J., de Vries, D. et Vogel, P. (1993). Acoustic control by wave field synthesis. J. Acoust. Soc. Am., 93(5):2764–2778.

[Bertelson et Radeau, 1981] P. Bertelson and M. Radeau. Cross-modal bias and perceptual fusion with auditory-visual spatial discordance. Perception and Psychophysics, 29 :578–584, 1981.

[Bertrand et al, 2011] Bertrand Marne, Benjamin Huynh-Kim-Bang, Jean-Marc Labat. Articuler motivation et apprentissage grâce aux facettes du jeu sérieux. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Conférence EIAH'2011, 2011, Belgique. Éditions de l'UMONS, Mons 2011.

[Blattner et al, 1989] Blattner, M., Sumikawa, D. ET Greenberg, R. (1989). Earcons and icons: Their structure and common design principles (abstract only). SIGCHI Bull., 21 :123– 124.

[Blauert, 1997] Blauert, Jens. 1997. Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization. USA: MIT Press.

[Bourdot et al, 2006] Bourdot, P., Tourraine, D., Vezien, J.-M., and Bouyer, G. (2006). Le traité de la Réalité Virtuelle, chapitre Les techniques d'intégration multimodale en Environnement virtuel, pages 317–328. P. Fuchs and G. Moreau and J-M. Burkhardt and S. Coquillart. 29

[Bouyer ,2007] Bouyer, G. (2007). Rendu multimodal en Réalité Virtuelle : Supervision des interactions au service de la tâche. Ph.d. thesis, Université de Sud Paris XI.

[Brogère, 2005] Brogère, G. (2005). Jouer/Apprendre. Paris, France : Economica.

[Butler et al, 1980] Butler, E.T. Levy, and W.D. Neff. Apparent distance of sounds recorded in echoic and anechoic chambers. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 6 :745–750, 1980.

[Château, 1996] Château.N, Localisation de sources sonores multiples dans l'hémisphère supérieur. PhD thesis, Laboratoire de Mécanique et d'acoustique, Université de la Méditerranée Aix-Marseille II, 1996.

[Château, 1997] Château. Interaction son/image et évaluation de la qualité subjective. Technical Report NT/DIH/CMC/726, France Télécom, 1997.

[Coleman, 1963] P.D Coleman. An analysis of cues to auditory depth perception in free space. Psychological Bulletin, 60 :345–346, 1963.

- [Durlach et al, 1993] Durlach, N., Shinn-Cunningham, B. et Held, R. (1993). Supernormal auditory localization. i - general background. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 2(2):89–103.
- [Gaver, 1986] Gaver, W. (1986). Auditory icons : using sound in computer interfaces. *Hum.- Comput. Interact.*, 2:167–177.
- [Gerzon, 1985] Gerzon, M. A. (1985). Ambisonics in multichannel broadcasting and video. *J. Audio Eng. Soc*, 33(1):859–871.
- [Gonzalez, 2011] Erik Vladimir ORTEGA GONZÁLEZ. Le 21 février 2011. Etude de son 3D pour une interaction audio-visuelle en environnement virtuel enrichi. PhDthesis, l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Spécialité " Informatique et traitement de signal ".
- [Grohn et al, 1994] Grohn, M., et T. Takala. 1994. MagicMikes - Multiple Aerial Probes for Sonification of Spatial Databases. Dans *Int. Conf. on Auditory Displays (ICAD'94)*, 108. Santa Fe, USA.
- [Grohn et al, 2002] Grohn, M., T. Lokki, et T. Takala. 2002. Static and dynamic sound source localization in a virtual room. Dans *Proc. AES 22nd Int. Conf. on Virtual, Synthetic and Entertainment Audio*, 15–17.
- [Haber et Hershenson, 1973] R. N. Haber and M. Hershenson. *The Psychology of Visual Perception*. MIT Press, 1973.
- [Hass, 1972] H. Hass. The influence of a single echo on the audibility of speech. *Journal of the Audio Engineering Society*, 73 :146–159, 1972.
- [Hendrix et Barfield, 1995] Hendrix, C., et W. Barfield. 1995. Presence in virtual environments as a function of visual and auditory cues. Dans *VRAIS '95: Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS'95)*, 74. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society.
- [Jin et al, 2004] Jin, Craig, Anna Corderoy, Simon Carlile, ET André van Schaik. 2004. Contrasting monaural and interaural spectral cues for human sound

localization. *Journal of the Acoustical Society of America* 115, no. 6: 3124-3141. doi :10.1121/1.1736649.

[Larsson et al, 2008] Larsson, Pontus, Daniel Vastfjall, et Mendel Kleiner. 2008. Effects of auditory information consistency and room acoustic cues on presence in virtual environments. *Acoustical Science and Technology* 29, no. 2: 191-194.

[Lokki et Grohn, 2005] Lokki, Tapio, et Matti Grohn. 2005. Navigation with Auditory Cues in a Virtual Environment. *IEEE MultiMedia* 12, no. 2: 80–86. doi:http://dx.doi.org/10.1109/MMUL.2005.33.

[Loomis, 1992] Loomis, J. , Distal attribution and presence, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 1 (1992), no. 1, 113–119, ISSN 1054-7460.

[Loomis et al, 1998] Loomis, J., Golledge, R. Et Klatzky, R. (1998). Navigation system for the blind: auditory display modes and guidance. *Presence : Teleoper. Virtual Environ.*, 7:193–203.

[LOOR et al, 2006]. Pierre DE LOOR, Laurent LE BODIC, Guillaume CALVET et Jacques TISSEAU.2006. Using simulation for Automating Usability Evaluation of Multimodal Systems.

[Marentakis et Brewster, 2005] G. Marentakis and S. Brewster. A comparison of feedback cues for enhancing pointing efficiency in gesture interaction with a spatial audio display. in. *In Mobile HCI*, pages 180–191. ACM Press, 2005.

[McKinley et al, 1995] McKinley, R., W. R. D'Angelo, M. W. Hass, D.R. Perrot, W.T. Nelson, L.J. Hettinger, et B.J. Brickman. 1995. An initial study of the effects of 3-dimensional auditory cueing on visual target detection. Dans *39th Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 119–123. USA.

[Melzer et al, 2010] Melzer, A., Christof Kinds Müller, M., et Herczeg, M., (2010). *Audioworld: a Spatial Audio Tool for Acoustic and Cognitive Learning*. In: Nordahl, R. (Ed.): *HAID 2010, LNCS 6306*, Berlin : Springer-Verlag, 46-54.

[Middlebrooks et al, 1991] Middlebrooks, John C., et David M. Green. 1991. Sound Localization by Human Listeners. *Annual Review of Psychology* 42, no. 1: 135–159.

[MILLS, 1972] A.W. Mills. *Foundations of modern auditory theory*, volume 2, chapter auditory localization, pages 301–345. Academic Press, 1972.

[Murray, Arnold & Thornton, 2000,] Murray, Craig D., Arnold, Paul, et Thornton, Ben. Presence accompanying induced hearing loss: Implications for immersive Virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 2000, vol. 9, no 2, p. 137-148.

[Nguyen et al, 2009] K.Nguyen, C.Suied, I.Viaud-Delmon, et O.Warusefel. 2009. Spatial audition in a static virtual environment : the role of auditory-visual interaction. IRCAM - CNRS UMR 9912 1, place Igor Stravinsky 75004 Paris, France.

[Radeau, 1994] M. Radeau. Auditory-visual spatial interaction and modularity. *Current Psychology of Cognition*, 13 :3–51, 1994.

[Rayleigh, 1907] Rayleigh, L. (1907). On our perception of sound direction. *Philosophical Magazine*, 13:214–232.

[Sanchez, 2011] Éric Sanchez, Institut Français de l'Éducation (ENS Lyon) et Université de Sherbrooke, Muriel Ney, Laboratoire d'Informatique de Grenoble, Jean-Marc Labat, Université Pierre et Marie Curie, Paris; *Jeux sérieux et pédagogie universitaire : de la conception à l'évaluation des apprentissages*; 2011 - *International Journal of Technologies in Higher Education*.

[Sanchez et Lumbreras, 1998] Sanchez, J., & Lumbreras, M. (1998). 3D aural interactive hyperstories for blind children. *International Journal of Virtual Reality*, 4(1), 20–28.

[Shinn-Cunningham et al, 1998] Shinn-Cunningham, Barbara G., Nathaniel I. Durlach, et Richard M. Held. 1998. Adapting to super normal auditory localization cues. I. Bias and resolution. *Journal of the Acoustical Society of America* 103, no. 5: 3656–3666.

[Walker et pick, 1981] R. D. Walk and H. L. Pick. *Intersensory perception and sensory integration*. Plenum Press, 1981.

[Walker et al, 2006] Walker, Bruce N, ET Jeffrey Lindsay. 2006. Navigation Performance with a Virtual Auditory Display: Effects of Beacon Sound, Capture Radius, and Practice. *Hum Factors* 48, no. 2 (Janvier): 265–278.

[Weerts et Thurlow 1971] T. C. Weerts and W. R. Thurlow. The effect of eye position and expectation on sound localization. *Perception & Psychophysics*, 12 :453–456, 1971.

[Wilson et al, 2007] Wilson, J., Walker, B., Lindsay, J., Cambias, C. etDellaert, F. (2007). Swan: System for wearable audio navigation. In *Proceedings of the 2007 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pages 1–8, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.

APPROBATION ETHIQUE

Dans le cadre de l'*Énoncé de politique des trois conseils : éthique de la recherche avec des êtres humains 2* (2014) et conformément au mandat qui lui a été confié par la résolution CAD-7163 du Conseil d'administration de l'Université du Québec à Chicoutimi, approuvant la *Politique d'éthique de la recherche avec des êtres humains* de l'UQAC, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Chicoutimi, à l'unanimité, délivre la présente approbation éthique puisque le projet de recherche mentionné ci-dessous rencontre les exigences en matière éthique et remplit les conditions d'approbation dudit Comité.

Les membres jugent que ce projet rencontre les critères d'une recherche à risque minimal.

Responsable(s) du projet de recherche :	<i>Madame Sabine Boukbris, Étudiante, Maîtrise en informatique</i>
Direction de recherche :	<i>Monsieur Bob-Antoine Jerry Ménélas, Professeur, Département d'informatique et de mathématiques</i>
Projet de recherche intitulé :	<i>Exploitation de rendus binauraux dans le cadre de jeux sérieux</i>
No référence du certificat :	<i>602.494.01</i>
Financement :	<i>le projet fait partie prenante d'une subvention du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) avec le programme de subvention à la découverte obtenue par Monsieur Bob-Antoine Jerry Ménélas</i>

La présente est valide jusqu'au 30 juin 2016.

Rapport de statut attendu pour le **31 mai 2016 (rapport final)**.

N.B. le rapport de statut est disponible à partir du lien suivant : <http://recherche.uqac.ca/rapport-de-statut/>

Date d'émission initiale de l'approbation : *16 mars 2016*

Date(s) de renouvellement de l'approbation :



Nicole Bouchard,
Professeure et présidente