

h e g

Haute école de gestion
Genève

Utilisation des jeux vidéo en réalité virtuelle dans le domaine de la santé

Travail de Bachelor réalisé en vue de l'obtention du Bachelor HES

par :

Nicolas PITTET

Conseiller au travail de Bachelor :

Michaël MARTIN, vacataire à la HEG

Genève, le 03 août 2020

Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE)

Filière Informatique de Gestion

Déclaration

Ce travail de Bachelor est réalisé dans le cadre de l'examen final de la Haute école de gestion de Genève, en vue de l'obtention du titre Bachelor of Science HES-SO en informatique de gestion.

L'étudiant a envoyé ce document par email à l'adresse remise par son conseiller au travail de Bachelor pour analyse par le logiciel de détection de plagiat URKUND, selon la procédure détaillée à l'URL suivante : <https://www.orkund.com>.

L'étudiant accepte, le cas échéant, la clause de confidentialité. L'utilisation des conclusions et recommandations formulées dans le travail de Bachelor, sans préjuger de leur valeur, n'engage ni la responsabilité de l'auteur, ni celle du conseiller au travail de Bachelor, du juré et de la HEG.

« J'atteste avoir réalisé seul le présent travail, sans avoir utilisé des sources autres que celles citées dans la bibliographie. »

Fait à Genève, le 29.06.2020

Nicolas Pittet



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier la personne qui a accepté de prendre en charge l'encadrement de mon travail de Bachelor, M. Michaël Martin. Il a été très présent lors du déroulement du travail et m'a été d'une grande aide tout au long de la conception de celui-ci. Ensuite, je tenais également à remercier les physiothérapeutes des hôpitaux universitaires de Genève et de l'hôpital de la Tour qui m'ont accordé de leur temps afin de répondre à mes diverses questions.

Je remercie aussi mes parents ainsi que mes proches qui m'ont été d'un fort soutien moral et qui ont accepté de tester mon jeu afin de me donner différents retours permettant de l'améliorer.

Résumé

L'intention de ce projet est de faire découvrir le vaste monde de la réalité virtuelle qui est aujourd'hui en grande expansion, notamment dans le domaine de la santé. Avant tout utilisée pour les jeux vidéo en tant que divertissement, il existe certains de ces jeux qui sont spécialement conçus afin d'être employés à des fins médicaux. Que ce soit dans la rééducation ou dans les formations de personnels soignants, les jeux en réalité virtuelle ont un rôle important à jouer dans la médecine.

Nous traiterons tout d'abord de la réalité virtuelle de manière générale afin d'en apprendre plus, en particulier sur son historique et son évolution jusqu'à aujourd'hui. Nous verrons ensuite comment les professionnels de la santé, tel que les thérapeutes utilisent cette technologie lors de leurs séances avec des patients afin de voir en quoi ces jeux peuvent leur être bénéfiques. Nous nous attarderons également sur quelques régions du cerveau qui réagissent différemment lorsque l'on se trouve dans un monde artificiel.

En parallèle des recherches effectuées, le développement d'un jeu vidéo se basant sur des informations m'ayant été transmises par des physiothérapeutes a été réalisé dans le but de permettre la rééducation des membres supérieurs. Le but étant de solliciter un maximum les bras de manière douce et fluide tout en s'immergeant dans un monde virtuel afin de rendre les exercices ludiques et ainsi garder une certaine motivation quant à la réalisation de ceux-ci.

Table des matières

Déclaration	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	vii
1. Introduction	1
2. La réalité virtuelle (RV)	2
2.1 Définition	2
2.2 Réalité virtuelle et réalité augmentée	2
2.3 Historique	3
2.3.1 Sensorama.....	3
2.3.2 Ultimate display.....	4
2.3.3 Sega VR et Virtual Boy	4
2.4 La réalité virtuelle actuellement	6
3. Réhabilitation par le jeu vidéo en réalité virtuelle	8
3.1 Mécanisme de récompense	9
3.2 Physiothérapie	9
3.3 Neuro-rééducation	10
3.3.1 Accidents vasculaires cérébraux.....	11
3.3.2 Maladie de Parkinson.....	12
3.4 Outils s'appuyant de la réalité virtuelle	13
3.4.1 Lokomat.....	13
3.4.2 Tapis de marche C-mill	14
3.4.3 Armeo Spring et la rééducation des membres supérieurs	15
3.4.4 Planche Wii Fit.....	15
4. Thérapie par exposition à l'aide de la réalité virtuelle	17
4.1 Troubles anxieux	18
4.1.1 Phobies.....	18
4.1.1.1 Phobie spécifique	19
4.1.1.1.1 Arachnophobie.....	20
4.1.1.1.2 Acrophobie.....	21
4.1.1.2 Anxiété sociale	22
4.1.1.2.1 OVR Social engagement	24
4.1.1.3 Agoraphobie	24
4.1.2 Trouble de conduite alimentaire	27
4.1.3 Stress post-traumatique	29
4.1.3.1 Virtual Vietnam	30
4.1.3.2 StrongMind	31
4.2 Addictions	32

4.2.1	Substances psychoactives	32
4.2.2	Jeux vidéo et Internet.....	34
4.3	C2Care	36
5.	Les effets de la RV sur le cerveau.....	38
5.1	Zones du cerveau impactées	39
5.1.1	Hippocampe.....	39
5.1.1.1	Cellule de lieu.....	40
5.1.1.2	Cellule de grille.....	40
5.1.1.3	Etude sur des rats en réalité virtuelle.....	40
5.2	Plasticité cérébrale	41
5.3	Tromper le cerveau	42
5.3.1	Soulagement des douleurs.....	42
5.3.1.1	Douleurs fantômes	43
5.3.1.2	Patients brûlés.....	44
5.3.1.2.1	SnowWorld VR	44
6.	La réalité virtuelle dans les maisons de retraite	46
7.	Utilisation par les professionnels de la santé.....	47
7.1	Formations	47
7.1.1	Endoscopie	47
7.1.1.1	GI-Bronch Mentor Virtual Reality Simulator	47
7.1.2	Interventions chirurgicales.....	48
7.1.2.1	Système de chirurgie robotisé da Vinci.....	48
7.1.2.1.1	Surgical's da Vinci Surgical Skills Simulator.....	49
7.1.2.2	Laparoscopie.....	49
7.1.2.3	Gamme LAP-X	50
7.1.3	Apprendre l'empathie	50
7.2	Chirurgies.....	51
8.	Travail pratique – RythmoSpace	52
8.1	Phase de conception	52
8.1.1	Mon choix	52
8.1.2	Contexte initial	52
8.1.3	Spécificités de RythmoSpace.....	53
8.1.4	Les différentes scènes	53
8.1.4.1	Menu.....	53
8.1.4.2	Tutoriel.....	54
8.1.4.3	Niveaux faciles	54
8.1.4.4	Niveaux intermédiaires.....	55
8.1.4.5	Niveaux difficiles.....	56
8.1.4.6	Affichage des scores	57
8.2	Phase de développement	58
8.2.1	Logiciels et langages utilisés.....	58
8.2.2	Packages et images utilisées	58
8.2.3	Musiques utilisées.....	58

8.2.4	Contrôles de mains	59
8.2.5	Générateur de cibles	59
8.2.5.1	Cibles.....	60
8.2.5.1.1	Niveaux faciles et intermédiaires	60
8.2.5.1.2	Niveaux difficiles	61
8.2.6	Destructeur de cibles	61
8.2.7	Manager de fichiers texte	62
8.2.7.1	Lecture.....	62
8.2.7.2	Écriture	62
8.3	Améliorations possibles.....	62
9.	Conclusion	64
	Bibliographie	66
	Annexe 1 : Game Design Document.....	78

Liste des tableaux

Tableau 1 : Agoraphobie: Comparaison de différentes thérapies	26
---------------------------------------------------------------------	----

Liste des figures

Figure 1 : Augmented Reality Vs Virtual Reality	2
Figure 2 : Le Sensorama (1962).....	3
Figure 3 : Épée de Damoclès	4
Figure 4 : SEGA VR	5
Figure 5 : Oculus Rift & HTC Vive	6
Figure 6 : Google Cardboard.....	7
Figure 7 : Exosquelette Lokomat.....	14
Figure 8 : Motek C-Mill	15
Figure 9 : Réduction des symptômes de l'acrophobie	22
Figure 10 : Une scène de la simulation OVR Social engagement.....	24
Figure 11 : Prévalence à vie des différents TCA, 2010, par sexe	27
Figure 12 : Zone d'atterrissage – Virtual Vietnam	31
Figure 13 : Illustration d'une thérapie à l'aide de la réalité virtuelle	33
Figure 14 : Les jeux vidéos les plus addictifs.....	35
Figure 15 : Casque C2Care.....	37
Figure 16 : Graphique – SnowWorld et la gestion des douleurs	45
Figure 17 : Simulateur de formation	48
Figure 18 : da Vinci	49
Figure 19 : MPathic - Scène	51
Figure 20 : Scène - Menu	53
Figure 21 : Scène - Tutoriel	54
Figure 22 : Scène - Niveaux facile.....	55
Figure 23 Scène - Mains	55
Figure 24 : Scène - Niveaux intermédiaires	55
Figure 25 : Scène - Niveaux difficiles.....	56
Figure 26 : Scène - Bâtons.....	56
Figure 27 : Scène - Affichage scores.....	57
Figure 28 : Scène - Affichage scores 2.....	57
Figure 29 : Script - Contrôles mains	59
Figure 30 : Script - Générateur cibles.....	60
Figure 31 : Cibles – Facile&Intermédiaire.....	60
Figure 32 : Script - Cibles	60
Figure 33 : Cibles - Difficile.....	61
Figure 34 : Script - Cibles difficiles	61
Figure 35 : Script - Destructeur de cibles.....	61
Figure 36 : Script - Lecture	62
Figure 37 : Script - Écriture.....	62

1. Introduction

Aujourd'hui, la réalité virtuelle (RV) a pris une place considérable dans notre société. Prévus au départ pour une utilisation cinématographique et également militaire¹, l'Homme a très vite compris qu'il y avait bien d'autres façons de l'exploiter. Elle a réussi à trouver sa place dans des domaines très différents les uns des autres. Que ce soit dans l'architecture, dans le jeu vidéo ou même dans l'événementiel², la RV continue de faire parler d'elle et à se faire adopter à d'autres corps de métier.

Le domaine de la santé est un parfait exemple d'émergence de cette technologie. Utilisée maintenant depuis un certain nombre d'années, on se rend compte qu'elle peut être bénéfique aussi bien pour les patients³, afin de réaliser par exemple des séances thérapeutiques de certains troubles, que pour les professionnels de la santé, comme certains chirurgiens qui utilisent la réalité virtuelle afin d'apprendre ou à perfectionner certains mouvements pouvant être fins et complexes dans un monde artificiel où ils peuvent y exécuter certaines opérations chirurgicales.

Aujourd'hui certaines structures médicales comme les hôpitaux et certaines cliniques ont déjà commencé à utiliser la réalité virtuelle, notamment en neuropsychologie, en complément d'autres appareils comme des exosquelettes dans le but de rendre les séances de rééducations plus agréables et bénéfiques pour le patient.

La grande force de cette technologie est que les possibilités sont quasiment infinies. En effet, certains de ces jeux⁴, donnent la possibilité de régler le niveau de difficulté en fonction des capacités des patients et ainsi, solliciter un maximum la participation active de celui-ci. De plus ils offrent la possibilité de varier les exercices selon les déficiences cognitives ou physiques à l'aide de différents jeux personnalisables qui permettent de rendre la séance la moins monotone possible.

Ce document est destiné à prouver et montrer pourquoi l'utilisation des jeux en réalité virtuelle dans le domaine médical est bénéfique pour les patients lors de traitement de différents troubles, mais également pour le futur personnel soignant grâce à des formations sous forme de simulation en réalité virtuelle.

¹ <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>

² <https://www.iberdrola.com/innovation/virtual-reality>

³ <https://visualise.com/virtual-reality/virtual-reality-healthcare>

⁴ <https://virtualisvr.com/reeducation-fonctionnelle/>

2. La réalité virtuelle (RV)

2.1 Définition

La réalité virtuelle⁵ est l'utilisation des technologies informatiques qui permettent la création d'un environnement dit simulé, généré par un ordinateur. A la différence des interfaces utilisateurs classiques où l'utilisateur se trouve face à un écran d'ordinateur, la réalité virtuelle s'utilise généralement à l'aide d'un visiocasque⁶. Cet appareil est muni d'un écran d'affichage sur un ou chacun des yeux qui permettent à l'utilisateur d'être immergé dans un monde virtuel en trois dimensions. Aujourd'hui ces appareils sont également munis de systèmes audios, de capteurs de mouvements et de manettes qui offrent la possibilité d'interagir avec cet environnement fictif.

2.2 Réalité virtuelle et réalité augmentée

Bien que les deux concepts soient plus ou moins reliés et aient des propriétés communes⁷, la principale différence entre ces deux notions est que la réalité virtuelle nous immerge dans un monde totalement artificiel construit à travers des images et des sons traités à l'aide d'un casque. La réalité augmentée, elle, se base à partir de ce que l'on voit dans le monde réel et l'enrichit en affichant un complément d'informations comme des images ou des objets sans forcément avoir besoin d'un casque. L'exemple le plus parlant de l'utilisation de la réalité augmentée est le jeu Pokémon Go⁸, sorti en 2016 sur Smartphone.

Figure 1 : Augmented Reality Vs Virtual Reality



⁵ https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9alit%C3%A9_virtuelle

⁶ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Visiocasque>

⁷ <https://www.marxentlabs.com/what-is-virtual-reality/>

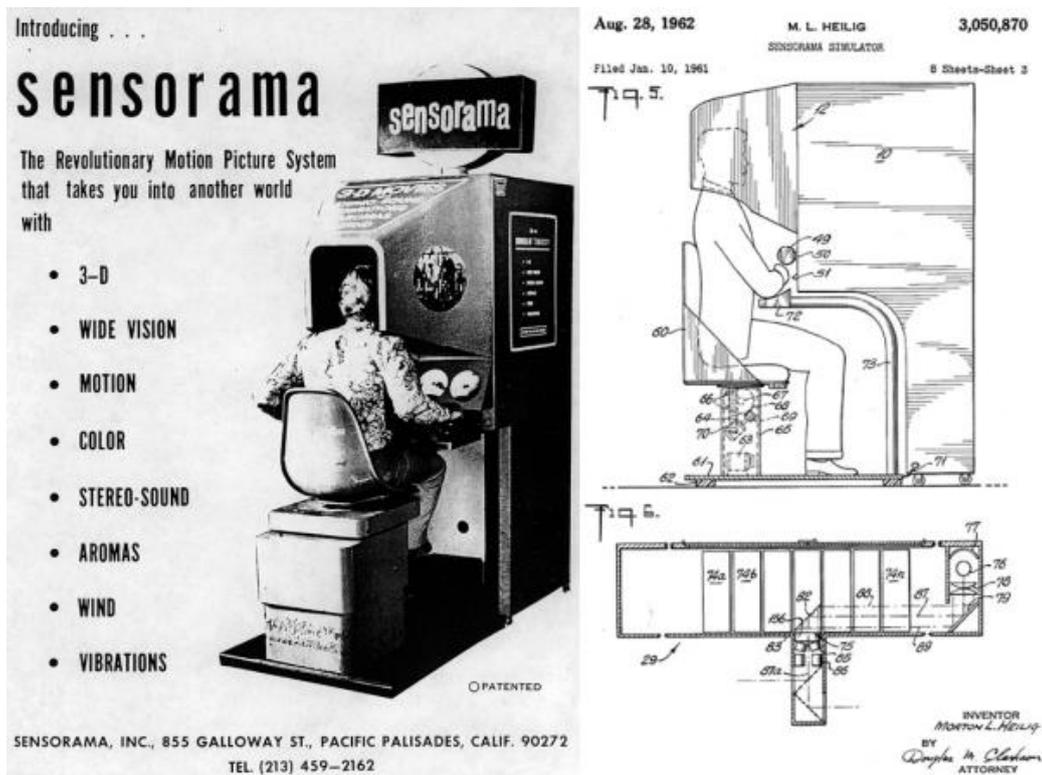
⁸ https://fr.wikipedia.org/wiki/Pok%C3%A9mon_Go

2.3 Historique

2.3.1 Sensorama

Le premier concept de réalité virtuelle est apparu avec Sensorama et a été pensé en 1955⁹ par un Américain, le cinéaste Morton Heilig. Son but était de créer une expérience unique permettant d'immerger au maximum les utilisateurs en simulant des odeurs, divers sons et même certains effets tel que le vent. Cet appareil, qui avait l'allure d'une borne d'arcade était composé d'un écran stéréoscopique (séparant la vue gauche et droite donnant un aspect de relief), de ventilateurs, d'émetteurs de parfums, un système de son stéréo ainsi qu'une chaise pouvant reproduire des vibrations. Cinq courts métrages étaient prévus sur cet appareil mécanique. Parmi eux, une simulation de balade à moto sur laquelle des effets d'odeurs et de bruits étaient enclenchés à des moments précis afin d'immerger un maximum le spectateur. Un prototype fonctionnel a été dévoilé en 1962¹⁰, mais malheureusement, par manque de soutien financier, le projet a dû être interrompu.

Figure 2 : Le Sensorama (1962)



(casquesrealitevirtuelle, 2016)

⁹ <https://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama>

¹⁰ <https://www.tomshardware.fr/lhistoire-reelle-de-la-realite-virtuelle/2/>

2.3.2 Ultimate display

Il faudra attendre l'année 1968¹¹ pour avoir le premier concept de visiocasque fonctionnel en réalité augmentée. Nous devons cette innovation à Ivan Shuterland et certains de ses étudiants. Ce visiocasque permettait d'afficher des modèles 3D basiques en « fil de fer »¹². La grande nouveauté est qu'il permettait de suivre les mouvements de la tête, ainsi, la perspective des formes perçues changeait en fonction de l'endroit où l'utilisateur regardait. Cet appareil était en revanche très lourd et était attaché à un bras mécanique suspendu au plafond qui permettait de suivre les mouvements de la tête. Cette invention prendra également le nom de « Épée de Damoclès » en référence au placement du dispositif qui était installé sur la tête de l'utilisateur.

Figure 3 : Épée de Damoclès



(blog.thetin.net, 2019)

2.3.3 Sega VR et Virtual Boy

Le Sega VR¹³ est un des premiers casques de réalité virtuelle conçus pour le jeu vidéo. Le développement de ce casque a commencé en 1991¹⁴ et était prévu pour les salles d'arcades ainsi que les consoles de salon. Il a été annoncé lorsque l'enthousiasme de la réalité virtuelle était à son summum et que l'on commençait à voir le potentiel de cette technologie dans les jeux-vidéos. A cette époque, Sega est un des leaders du marché des consoles de jeux vidéo, l'entreprise a donc cherché à innover sa technologie afin

¹¹ <https://www.tomshardware.fr/lhistoire-reelle-de-la-realite-virtuelle/4/>

¹² https://www.lri.fr/~cfeury/teaching/app5-info/RVI-2018/slides/01_RVI_Introduction_RV.pdf

¹³ https://fr.wikipedia.org/wiki/Sega_VR

¹⁴ <https://www.designnews.com/electronics-test/story-sega-vr-segas-failed-virtual-reality-headset>

d'attirer un maximum de clients. Elle cherchera notamment à devenir la firme pionnière du jeu vidéo en réalité virtuelle pour les consoles de salon. En effet, dans les salles d'arcades ainsi que les centres commerciaux, des installations de machines comme la gamme *Virtuality*¹⁵ commençaient à apparaître et avaient un grand succès. Comme beaucoup d'entreprises ayant tentés de pénétrer le marché de la réalité virtuelle, Sega a rencontré des problèmes lors du développement du produit car la technologie n'était pas encore maîtrisée. Le problème majeur rencontré était que les développeurs avaient des difficultés à synchroniser les différents éléments du décor avec les mouvements de têtes, ce qui pouvait causer des nausées ainsi que des maux de tête auprès des utilisateurs.

Figure 4 : SEGA VR



(Medium, 2017)

Nintendo tentera également sa chance en 1995 avec le Virtual Boy¹⁶. C'est une console de jeu vidéo portable et le premier casque se rapprochant de la réalité virtuelle accessible pour tous. Ce projet sera malheureusement un échec notamment à cause de son prix de 180 dollars américains pour une console portable et son pauvre nombre de jeu disponible.

¹⁵ [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtuality_\(product\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtuality_(product))

¹⁶ https://fr.wikipedia.org/wiki/Virtual_Boy

2.4 La réalité virtuelle actuellement

Aujourd'hui, la réalité virtuelle n'est plus une histoire de science-fiction et est implémentée dans notre société. Elle est désormais développée pour diverses utilisations. Nous pouvons la retrouver dans différents domaines¹⁷ tels que l'éducation, où elle permet d'aider certains élèves ayant des difficultés d'apprentissage, l'architecture afin de permettre à des clients d'architectes de se projeter dans un bâtiment en construction et dans bien plus de corps de métier dont le nombre ne cesse d'augmenter.

De nombreuses compagnies¹⁸ s'intéressent à la réalité virtuelle et conçoivent leurs propres casques. Nous avons par exemple l'entreprise Oculus¹⁹ qui a été rachetée par Facebook en 2014, et encore Vive qui est à l'origine du *HTC Vive*²⁰ pour ne citer que les plus connues.

Figure 5 : Oculus Rift & HTC Vive



(Usine-digitale, Julien Bergounhox, 2016)

Il existe deux types de casques qui sont utilisés en majorité. Nous avons tout d'abord le casque où l'écran est intégré au casque et est connecté directement à un ordinateur ou à une console de jeu. Comme exemple, nous pouvons citer l'*Oculus Rift S* et le *Playstation VR*. Concernant le second type de casque, il est nécessaire d'y fixer son Smartphone. En effet, il n'y a pas d'écran intégré cette fois-ci, c'est le téléphone qui fait office d'affichage. Les performances de ces casques sont en général moins bonnes que

¹⁷ <https://www.iberdrola.com/innovation/virtual-reality>

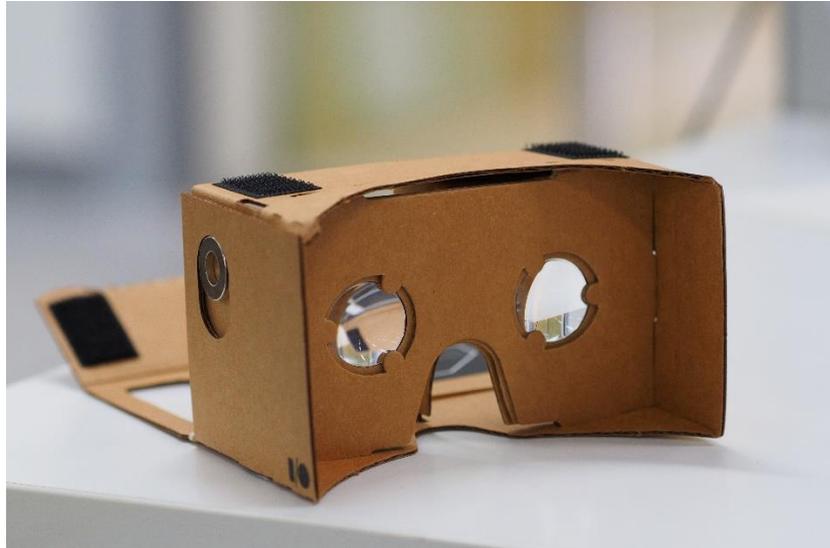
¹⁸ <https://www.gamedesigning.org/gaming/virtual-reality-companies/>

¹⁹ [https://fr.wikipedia.org/wiki/Oculus_\(entreprise\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Oculus_(entreprise))

²⁰ https://fr.wikipedia.org/wiki/HTC_Vive

les casques ayant un écran intégré mais sont beaucoup moins onéreux. Comme exemple, nous avons le célèbre *Google Cardboard* et le *Gear VR*.

Figure 6 : Google Cardboard



(Google Cardboard, Wikipedia)

3. Réhabilitation par le jeu vidéo en réalité virtuelle

Cela fait maintenant 20 ans²¹ que la réalité virtuelle est utilisée dans le domaine de la rééducation. Que ce soit pour des problèmes neurologiques ou physiques, la réalité virtuelle est un outil qui permet de varier les exercices afin de pouvoir s'adapter à différents types de difficultés. Elle permet de rendre une séance de rééducation plus stimulante afin d'éviter que celle-ci ne soit monotone. De plus, à l'aide de ces jeux vidéo, il est possible de proposer des exercices plus ludiques, notamment lors de séance de physiothérapie, ce qui est un grand avantage de la réalité virtuelle car les patients sont entraînés par le jeu. Ils n'ont alors pas l'impression de travailler mais de se divertir, ce qui leur permet de rester motivés et de réaliser leurs exercices correctement. Cet aspect de motivation peut aussi être créé par la possibilité de paramétrer l'intensité de la séance. En effet, elles peuvent ainsi être adaptées au niveau actuel des patients afin de satisfaire au mieux à leurs besoins.

L'apprentissage en RV est également plus significatif qu'un apprentissage hors contexte où l'on bouge par exemple son bras de gauche à droite, sans but précis. Pour la réhabilitation des membres supérieurs, plus particulièrement au niveau des mains et des poignets, il est possible de les faire travailler en simulant un monde virtuel où le patient se trouve dans une cuisine, face à une table sur laquelle se trouve un verre et une carafe d'eau. Le but étant que le patient puisse verser de l'eau dans le verre. Cela peut sembler absurde, mais le fait d'immerger une personne ayant subi un accident vasculaire cérébral (AVC) dans un contexte familier peut l'aider à réaliser ces mouvements qui nous semblent pourtant basiques. Ainsi, le patient se trouve dans une situation où il a l'impression d'être dans une cuisine qui peut être la sienne, ce qui lui permet de réaliser et d'affiner ces mouvements en manipulant des objets virtuels semblables à ceux qu'il utiliserait dans la vie de tous les jours dans le monde réel.

Une autre spécificité importante de la réalité virtuelle est qu'elle permet de fournir un nombre de feedbacks²² « augmentés ». En RV, ces feedbacks sont pour la plupart de nature auditives et visuelles mais aussi haptiques. Cette forte rétroaction que peut fournir cette technologie augmenterait les performances motrices²³ des patients lorsque les exercices sont réalisés régulièrement à une certaine intensité.

De plus, certains jeux en réalité virtuelle offrent la possibilité de fournir des informations essentielles lors des séances comme la performance du patient, les séquences de

²¹ https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9alit%C3%A9_virtuelle#M%C3%A9dicale

²² <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4919322/>

²³ <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/752128/>

mouvements, la force qu'il met lors de ces mouvements et bien d'autres éléments. Ces jeux permettent également d'avoir une vue globale sur les résultats obtenus comme la qualité et la quantité de mouvements réalisés. A l'aide de toutes ces informations, les professionnels de la santé ont différentes informations qui leur permettent de comprendre les déficiences au niveau des mouvements afin de s'adapter et mieux accompagner les patients lors de leurs prochaines séances.

Des jeux prévus à des fins médicales et certains jeux vendus dans le commerce, sont conçus de manière que les utilisateurs fassent mieux que les fois précédentes. Cela peut se faire à l'aide d'un score que l'on veut à tout prix battre ou alors par un système de niveau où il faut passer certaines étapes afin d'avancer dans le jeu. Pour que les utilisateurs puissent atteindre le niveau suivant, ceux-ci doivent toujours se dépasser afin de passer un exercice qui sera toujours plus difficile à terminer que le précédent. Ainsi, l'utilisateur est toujours récompensé lorsqu'il réalise de bonnes performances.

3.1 Mécanisme de récompense

La grande force des jeux vidéo dans le domaine de la rééducation est le mécanisme de récompense²⁴ qui permet de créer une certaine motivation chez le patient qui reçoit certains Feedbacks. Les Feedbacks donnent des informations aux joueurs par rapport à leurs actions. Grâce à cet élément, le patient peut échouer ou gagner ce qui peut lui donner envie de toujours faire mieux que les parties précédentes. Cette inspiration peut également s'expliquer du fait que ce circuit de récompense met en jeu la libération de la *dopamine*²⁵ qui provoque une sensation de plaisir. Cet aspect du jeu vidéo est très important selon le physiothérapeute Guyen qui travaille aux hôpitaux universitaires de Genève (HUG). Lors de notre entretien téléphonique il a pu m'affirmer que plus le patient est en mouvement et stimulé lors de ses séances de rééducation, plus il va récupérer rapidement. Un autre aspect qui peut jouer un rôle dans la motivation du patient est l'intégration de la coopération avec d'autres personnes atteintes des mêmes conditions physiques ou cognitives qui peut favoriser l'élément de plaisir chez celui-ci grâce notamment à une interaction sociale.

3.2 Physiothérapie

Encore une fois lors de mon entretien téléphonique, on a pu m'expliquer qu'en moyenne une séance de physiothérapie privée dure 45 minutes. Pour les grosses stimulations, 45 minutes est la limite, mais il est possible de réaliser une séance de 30 minutes puis ensuite une séance en groupe. Après une séance de stimulation, il est important que le

²⁴ https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_r%C3%A9compense

²⁵ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Dopamine>

patient ait une période de repos. Cela peut être soit une micro-sieste, soit tout simplement se mettre dans un endroit calme. Ce repos permet de mieux intégrer les exercices effectués lors de la séance. Le patient doit être stimulé plusieurs fois dans la journée à l'aide de différents exercices pour qu'il puisse récupérer le plus rapidement possible.

En ce qui concerne les mouvements et exercices à effectuer pour les membres supérieurs tels que les bras et les mains, ils peuvent être reproduits dans un monde de réalité virtuelle. Dans certaines structures médicales, la Wii²⁶ est utilisée, car les différents jeux accessibles sur cette console (notamment les jeux de sport) permettent de réaliser des mouvements simples et réalisables facilement. En ce qui concerne la rééducation de ces membres, il faut un grand nombre de répétitions de mouvements, qui doivent être si possible, associés à quelques choses de connu par le patient. Il faut absolument stimuler un maximum le patient, notamment par le réapprentissage des mouvements.

Les AVQ²⁷ (activité de la vie quotidiennes) sont grandement à favoriser comme le fait de déplacer des objets (ranger des objets sur des étagères), ou toute autre exercice lié au travail ou ce que l'on fait à la maison dans notre vie de tous les jours. Un point important est qu'il faut qu'il y ait une possibilité d'induire des variations dans les exercices (pas de mouvement stéréotypé). Il a été prouvé scientifiquement que la variation de mouvements était efficace. Il faut également, si possible que des feedbacks puissent être transmis durant la séance à l'aide du jeu vidéo utilisé.

Le physiothérapeute Guyen a pu remarquer qu'à l'aide des jeux vidéo en réalité virtuelle, les patients vont souvent pousser plus loin dans la fatigue et ainsi obtenir de meilleurs résultats dans leurs rééducations. Les personnes âgées aussi, lorsqu'elles comprennent le fonctionnement du jeu, sont très enthousiastes quant à l'utilisation des nouvelles technologies. Il arrive même souvent qu'il faille leur demander de prendre une pause car elles sont totalement immergées et restent trop longtemps sur le jeu.

3.3 Neuro-rééducation

Le domaine de la neuro réhabilitation est sans doute le domaine où l'on utilise le plus de réalité-virtuelle car l'immersion du patient joue un rôle primordial dans la rééducation de ces personnes. Comme exemple, on peut citer les patients atteints de négligence spatiale unilatérale²⁸. Ce sont des personnes, qui très souvent, sont atteintes de lésion du lobe pariétal droit, ce qui engendre une négligence de tout ce qu'il se passe à la

²⁶ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Wii>

²⁷ https://fr.wikipedia.org/wiki/Activit%C3%A9s_de_la_vie_quotidienne

²⁸ https://fr.wikipedia.org/wiki/N%C3%A9gligence_spatiale_unilat%C3%A9rale

gauche de celles-ci (et inversement si la lésion se trouve sur le lobe pariétal gauche). Il arrive fréquemment que ces individus se perdent dans les couloirs, se cognent dans les coins de murs dans les cas de grandes régressions car ils regardent toujours à leur droite. La réalité virtuelle dans ces cas-là est une méthode dite « intrusive » qui va donner l'illusion au cerveau de sa fonction perdue. Le cerveau va du coup devoir s'adapter et devient alors plus « permissif ». Aux hôpitaux universitaires de Genève, il existe un jeu vidéo en réalité virtuelle permettant de faire travailler les patients atteints d'héminégligence. Ils se retrouvent face à une demi-sphère pour travailler la poursuite oculaire afin que les personnes atteintes d'héminégligence puissent rééduquer le côté leur faisant défaut.

Bien qu'efficace, l'utilisation de la réalité virtuelle n'est pas forcément recommandée dans certains cas dans le domaine de la neuro-rééducation, En effet, le physiothérapeute Guyen a pu m'expliquer que lorsque les capacités cognitives d'un patient sont gravement atteintes, il est difficile pour celui-ci de se projeter dans le monde virtuel, ce qui limite grandement l'utilisation de cette technologie.

Selon une étude²⁹ réalisée par une étudiante de la haute école de santé à Genève en 2014, bien que limitée, l'utilisation de la réalité virtuelle dans les thérapies présente des améliorations par rapport à une rééducation conventionnelle pour les patients POST-AVC. Il est tout de même précisé que les résultats émis lors de cette étude sont à interpréter avec prudence.

3.3.1 Accidents vasculaires cérébraux

Un accident vasculaire cérébral³⁰ survient lorsque l'apport sanguin vers certaines régions du cerveau est interrompu ou fortement réduit, empêchant ainsi l'arrivée d'oxygène et de nutriments dans le tissu cérébral. L'AVC se produit généralement lorsqu'il y a une obturation d'une artère par un thrombus³¹ ou d'un embole³². Il peut également survenir lorsqu'il y a une hémorragie cérébrale (rupture d'une artère). Une personne victime d'un AVC peut se voir atteinte de difficultés motrices, cognitives et sensorielles, ce qui rend certaines activités de la vie quotidienne bien plus complexes à réaliser.

²⁹ https://doc.rero.ch/record/232648/files/TB_PHYSIO_2014_2_Sch_rer_Th_beau.pdf

³⁰ https://fr.wikipedia.org/wiki/Accident_vasculaire_c%C3%A9r%C3%A9bral

³¹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Thrombus>

³² <https://fr.wiktionary.org/wiki/embol%C3%A9>

En suisse, 16'000 personnes³³ sont atteintes d'un AVC chaque année. C'est la troisième cause de mortalité en Suisse derrière les maladies cardio-vasculaires et les cancers. Dans le monde, c'est plus de six millions de décès³⁴, ce qui en fait la deuxième plus grande cause de décès.

Le physiothérapeute Guyen a pu m'expliquer que l'utilisation de la réalité virtuelle est efficace uniquement si le patient comprend ce que l'on désire obtenir, or le problème est que lors d'un accident vasculaire cérébral, la victime peut être atteinte de troubles cognitifs qui rendent la compréhension d'un monde virtuel en trois dimensions plus compliquées. La séance devient alors perturbante pour le patient ce qui rend l'approche moins efficace. On peut donc dire que l'utilisation de cette technologie peut être bénéfique à la condition que le patient ne soit pas affecté par de lourdes lésions cérébrales.

Une étude³⁵ réalisée en 2016 par *THE LANCET Neurology* montre que la réalité virtuelle permet d'aider les personnes ayant été victimes d'attaques cérébrales mais qu'elle n'est pas forcément plus efficace que des méthodes traditionnelles. Des adultes choisis de manière aléatoire entre 18 et 85 ans ayant subi un AVC suivi d'un déficit moteur au niveau des membres supérieurs ont accepté de participer à l'étude. Tous les participants ont ensuite été affectés de manière aléatoire dans deux groupes différents, contenant chacun un programme de rééducations. Le premier groupe avait accès à des séances de réalité virtuelle non immersive sur la Nintendo Wii et l'autre groupe à des activités récréatives tel que des jeux de cartes et le Bingo. Il est important de préciser que ces séances étaient complémentaires à des séances de thérapies conventionnelles. A la fin de l'étude, ils ont pu constater que le temps moyen de réadaptation était similaire entre les deux groupes. Il a également été démontré que le score de base *WMFT*³⁶ (Wolf Motor Function Test), l'âge, le sexe ainsi que la gravité de l'AVC n'a aucune différence significative entre les groupes.

3.3.2 Maladie de Parkinson

Le syndrome Parkinsonien³⁷ figure parmi les maladies neurodégénératives les plus répandues. En Suisse, on compte plus de 15'000³⁸ personnes atteintes. Les symptômes

³³ <https://www.rts.ch/info/sciences-tech/9779662-le-nombre-de-deces-par-avc-ne-recule-plus-en-suisse.html>

³⁴ <http://www.fondation-recherche-avc.org/fr/%C3%A9quence>

³⁵ [https://www.thelancet.com/journals/laneur/article/PIIS1474-4422\(16\)30121-1/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/laneur/article/PIIS1474-4422(16)30121-1/fulltext)

³⁶ <https://www.strokengine.ca/fr/assess/wolf-motor-function-test-wmft/>

³⁷ <https://www.msmanuals.com/fr/accueil/troubles-du-cerveau,-de-la-moelle-%C3%A9pini%C3%A8re-et-des-nerfs/troubles-du-mouvement/syndrome-parkinsonien>

³⁸ <https://www.planetesante.ch/Magazine/Autour-de-la-maladie/Maladie-de-Parkinson/La-maladie-de-Parkinson-affecte-15000-Suisse>

de cette maladie sont divers et dépendent de tout un chacun. On retrouve dans les différents symptômes, le ralentissement des mouvements, la rigidité, des tremblements au repos, une certaine instabilité posturale et bien d'autre. Certains traits sont assez communs chez ces personnes comme la tristesse voire même la dépression, qui peuvent être dus aux différentes dimensions de la vie que touchent cette maladie. Notamment l'aspect social qui fait qu'elles sortent moins, ce qui pose des problèmes au niveau de la motivation. Lors d'une séance de rééducation, les physiothérapeutes cherchent à créer une stimulation en proposant diverses activités. Cette stimulation peut être retrouvée dans les jeux vidéo en réalité virtuelle. En effet, ils sont souvent sources de motivation pour le patient et ils lui permettent d'effectuer des exercices de réadaptation motrice, notamment en termes d'équilibre. L'avantage de ces jeux est qu'ils sont nombreux et qu'ils permettent de varier les outils. Ces personnes peuvent également réaliser des exercices à faire notamment en famille grâce à la *Kinect* ou la *Wii*.

3.4 Outils s'appuyant de la réalité virtuelle

3.4.1 Lokomat

Le robot Lokomat³⁹ permet à des patients de marcher sur un tapis à l'aide d'un exosquelette. Il est destiné aux patients ayant très peu de potentiel moteur. Grâce à cet outil, la participation active du patient est grandement stimulée afin qu'il puisse réaliser de plus en plus le mouvement de marche. Le Lokomat peut aussi être utilisé avec un casque RV qui immerge le patient dans un monde virtuel. Le fait d'allier le mouvement à l'aide d'un avatar virtuel change grandement les résultats obtenus lors des séances de rééducations notamment grâce à l'aspect motivant et immersif que procure le jeu. Nous avons par exemple le jeu « Lokosprint »⁴⁰ sur lequel le patient contrôle un avatar, qui se déplace plus ou moins vite dans un paysage virtuel. Le patient lui, peut agir avec l'avatar en poussant sur ses jambes afin de récupérer des pièces sur son chemin.

Le fait d'ajouter la réalité virtuelle à cette machine permet de donner une pointe de réalisme en donnant l'impression que le patient se déplace dans l'espace et pas sur un tapis roulant. Cela permet de travailler la neuroplasticité (que nous traiterons dans un prochain chapitre) qui aide à recréer les connexions dans le cerveau destinés à la marche. L'engagement du patient est bien plus présent lorsqu'il se retrouve dans le monde virtuel car il a un but qui est de récupérer le plus de pièces possibles dans un temps imparti. Ainsi, les thérapeutes peuvent fixer des objectifs à atteindre comme

³⁹ <https://www.hocoma.com/us/solutions/lokomat/>

⁴⁰ <https://www.neurorehabvr.com/lokosprint-vr>

ramasser un certain nombre de pièces ou faire un meilleur score que la séance précédente.

Figure 7 : Exosquelette Lokomat



(tbirehabilitation, Neuro Rehab VR, 2019)

3.4.2 Tapis de marche C-mill

Cet appareil⁴¹ est utilisé dans différents hôpitaux comme le centre hospitalier universitaire vaudois. La grande force de tapis est qu'il permet de créer des variations dans la marche afin de la rendre plus ou moins facile pour le patient. Lors d'une séance de rééducation pour les jambes, les physiothérapeutes tentent d'induire un maximum de perturbations dans la marche en créant différents parcours ou slaloms. Grâce au C-mill les physiothérapeutes peuvent adapter cet aspect comme ils le souhaitent. Ce tapis est également utilisé avec la technologie de la réalité virtuelle non-immersive et réalité augmentée qui permettent de varier les exercices. On pourra retrouver dans différents jeux des objets virtuels projetés sur la surface du tapis en guise de cibles dont le but est d'éviter, d'enjamber ou d'appuyer dessus afin de créer un certain aspect de déséquilibre qui est intéressant pour améliorer la marche de ces personnes.

⁴¹ <https://www.hocoma.com/solutions/c-mill/>

Figure 8 : Motek C-Mill



(Summitmedsci)

3.4.3 Armeo Spring et la rééducation des membres supérieurs

Armeo Spring⁴² est une orthèse de membre supérieur créée par la société Hocoma. Elle permet la rééducation précoce des capacités neuromotrice à l'aide d'un exosquelette⁴³. À l'aide de ce dispositif, il est possible de reproduire par exemple l'imitation de l'eau afin que le bras du patient paraisse plus léger. On l'utilise sur des patients avec une certaine motricité contrairement au Lokomat. Il est possible de relier les différents mouvements produits par le bras du patient dans un monde virtuel sur un écran afin d'avoir une certaine immersion qui aide grandement à la rééducation. Il est également possible de régler certaines difficultés en fonction du niveau du patient. Au départ, le patient commencera par des exercices simples tel que déplacer son bras de droite à gauche dans deux dimensions pour ensuite réaliser des exercices plus compliqués en trois dimensions comme le fait de déplacer un objet dans un chariot. Le jeu vidéo aide grandement à faire les exercices car en général, les mouvements deviennent vite rébarbatifs et le patient perd sa motivation.

Parmi les différents jeux proposés en appui à Armeo il en existe un dont le but est de laver une salle. Il est possible de régler la difficulté afin que les mouvements soient plus compliqués à exécuter suivant le niveau de la personne. Une personne ayant de la facilité devra réaliser plus d'effort afin de nettoyer entièrement la salle.

3.4.4 Planche Wii Fit

Wii Fit⁴⁴ est un jeu de simulation développé par Nintendo sorti sur la console Wii le 25 avril 2008 en Europe. Ce jeu utilise une planche d'équilibre nommée *Wii Balance Board*⁴⁵

⁴² <https://www.hocoma.com/solutions/armeo-spring/>

⁴³ <https://www.marianjoy.org/rehab-technology/tellabs/armeio-spring.aspx>

⁴⁴ https://fr.wikipedia.org/wiki/Wii_Fit

⁴⁵ https://fr.wikipedia.org/wiki/Wii_Balance_Board

qui s'utilise debout. A l'aide de quatre capteurs de poids, la planche peut calculer l'inclinaison du joueur et son centre de gravité. Il est possible d'utiliser les manettes afin de jouer à des jeux de coordinations pour les membres supérieurs. C'est un moyen de proposer des exercices plus ludiques aux patients afin qu'ils aient moins l'impression de travailler et qu'ils fassent plus d'efforts lors des séances de rééducation.

4. Thérapie par exposition à l'aide de la réalité virtuelle

La thérapie par exposition à l'aide de la réalité virtuelle⁴⁶ (TERV) est l'utilisation de la technologie de la réalité virtuelle à des fins psychologique dans le but de vaincre certains troubles anxieux comme des phobies ou des addictions en temps réel.

Un grand nombre d'études ont déjà été réalisées afin de prouver que la réalité virtuelle pouvait être un acteur important et bénéfique lorsqu'elle est utilisée sur des patients souffrant de troubles psychiques. Une étude⁴⁷ réalisée en France, dans l'unité de thérapie comportementale et cognitive de l'hôpital Sainte-Anne a eu pour but de tester et comparer l'efficacité de la TERV par rapport à une thérapie cognitivo-comportementale⁴⁸ (TCC) de groupe pour des personnes atteintes de phobie sociale. La TCC est une méthode psychothérapique, généralement brève⁴⁹ et structurée qui permet au patient de faire face à ses difficultés actuelles. La TERV est donc un aspect de la TCC mais virtuel. Un total de 36 patients (17 hommes et 19 femmes) ont participé à cette étude. Différents critères devaient être remplis afin d'être accepté à cette expérience comme le fait d'être âgé d'au moins 18 ans et 65 ans au plus, d'être atteint de phobie sociale depuis au moins 2 ans et 25 ans au plus et de ne pas avoir un autre trouble mental autre qu'un trouble anxieux. Une moitié de personnes ont été placées dans le groupe TERV et le reste dans le groupe TCC. Pour le groupe TERV, il y a eu 12 séances hebdomadaires individuelles de 45 minutes tandis que pour le groupe TCC, 12 séances hebdomadaires de deux heures. Tous les groupes ont été évalués avant et après l'expérience à l'aide de différentes mesures telle que *l'échelle d'anxiété sociale de Liebowitz*⁵⁰ (questionnaire permettant d'évaluer l'anxiété lors de situations d'interaction sociale). L'expérience s'est terminée en montrant que les deux groupes ont présenté une amélioration clinique importante. Le plus intéressant étant que ceux du groupe TERV ont connu un net affaiblissement de leurs d'anxiété sociale selon l'échelle créée à cet effet comparé à l'autre groupe.

Aujourd'hui, l'efficacité des thérapies par la réalité virtuelle est validée⁵¹ pour différents troubles psychiques tels que les phobies et certaines addictions. Elle présente également de nombreux avantages pour le patient tel que le sentiment de confiance que

⁴⁶ <https://www.chuv.ch/fileadmin/sites/dp/documents/dp-spo-UniteCC-groupe-TERV.pdf>

⁴⁷ <https://www.inequilibra.ch/nouvelles-methodes/therapie-par-realite-virtuelle>

⁴⁸ https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9rapie_cognitivo-comportementale

⁴⁹ <http://www.psy-aebischer.ch/tcc/>

⁵⁰ <https://tcc.apprendre-la-psychologie.fr/catalogue/tests-psychologiques/echelle-d-anxiete-sociale-liebowitz-social-anxiety-scale.html>

⁵¹ <https://www.cerveauetpsycho.fr/sd/psychiatrie/la-realite-virtuelle-soignera-de-plus-en-plus-de-troubles-psychiques-9788.php>

celui-ci peut ressentir lors des séances de TERV car il ne se sent pas jugé par les personnes autour de lui. De plus, cette approche amène un aspect ludique/motivant qui peut être amené par le jeu vidéo tout en ayant la possibilité de vivre l'expérience de manière graduelles et répétée.

4.1 Troubles anxieux

Les troubles anxieux⁵² regroupent un grand nombre de troubles mentaux qui se manifestent par des sentiments d'anxiétés et de peurs irrationnelles. Parmi eux, nous retrouvons les phobies, les troubles de stress post-traumatique, les troubles de conduites alimentaires et bien d'autres. La réalité virtuelle peut aujourd'hui être utilisée afin de soigner certains de ces troubles, notamment grâce à la sensation de présence que procure le monde virtuel envers l'utilisateur.

En psychopathologie, les traitements des troubles anxieux à l'aide de la réalité virtuelle ont été très vite expérimentés. Dès les années 90⁵³, des recherches sur l'efficacité des thérapies par exposition de la réalité virtuelle étaient déjà en cours. En 2005, des recherches réalisées par P.L. Anderson, E. Zimand, L.F. Hodges, B.O. Rothbaum, ont prouvé que l'utilisation de la RV était semblable voire même plus efficace que l'utilisation des méthodes dites *in vivo*⁵⁴ pour le traitement des personnes atteintes d'acrophobie. La méthode *in vivo* consiste à mettre un patient directement face à sa phobie dans le monde réel ou par l'imagination. La première utilisation de la réalité virtuelle pour le traitement de troubles psychologiques s'est faite pour la première fois à l'Université Clark à Atlanta pour la phobie du vol en 1992⁵⁵ et a révélé des résultats très positifs pour les futurs traitements de troubles psychologiques à l'aide de cette technologie.

Aujourd'hui, les recherches ont permis d'augmenter considérablement le nombre de troubles anxieux pouvant être traités grâce à la réalité virtuelle.

4.1.1 Phobies

Une phobie⁵⁶ est un trouble anxieux qui déclenche une réaction de peur incontrôlable chez un individu lorsqu'il se trouve devant une situation phobogène. De la peur des endroits clos à la peur des araignées, certaines de ces phobies peuvent être plus handicapantes que d'autres dans la vie de tous les jours.

⁵² <https://psycnet.apa.org/fulltext/2009-04082-005.html>

⁵³ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6659125/>

⁵⁴ <https://tcc.apprendre-la-psychologie.fr/la-technique-d-exposition.html>

⁵⁵ <http://hms.health.uq.edu.au/vislab/publications/reprints/coelhoJAD09.pdf>

⁵⁶ <https://www.healthline.com/health/phobia-simple-specific>

Il existe trois grandes catégories de phobies⁵⁷ que nous décrivons dans ce document. Il y a tout d'abord les phobies spécifiques, sociale et l'agoraphobie.

En ce qui concerne les causes des phobies, notamment les spécifiques comme l'arachnophobie, elles peuvent se développer à n'importe quel âge mais pour beaucoup, elles surviennent dès l'enfance⁵⁸.

Un des grands avantages de la réalité virtuelle par rapport à des méthodes plus classiques pour le traitement des phobies est qu'il est possible d'ajuster l'environnement virtuel afin de mettre l'utilisateur face à ses peurs de manière progressive afin de réduire petit à petit la situation anxiogène. Il est également possible d'y mettre fin instantanément si la séance ne se déroule pas comme prévu et de recommencer de manière infinie. De plus, il a un avantage monétaire. En effet, certaines phobies nécessitent que le thérapeute ou un coach accompagne le patient sur un lieu précis afin de réaliser un coaching dans de réelles conditions et que le patient fasse face à sa phobie. Pour le cas de l'aérophobie (peur de l'avion) par exemple, il peut arriver que le thérapeute doive se joindre au patient durant des vols en avion. Cela peut devenir long et onéreux selon le nombre de séance nécessaire. Dans le cas de la réalité virtuelle, il suffit de se procurer une seule fois, un casque, des manettes et éventuellement un siège pouvant reproduire les secousses de l'avion. Tout cet équipement de réalité virtuelle peut paraître onéreux à première vue, mais aujourd'hui, les prix deviennent de plus en plus abordables et il n'y a pas de dépense ultérieure nécessaire.

Il est important de préciser qu'avant de mettre le casque, tout un travail de psychoéducation⁵⁹ ainsi que de relaxation doit être fait par le patient à l'aide d'un thérapeute afin que celui-ci ait tous les outils nécessaires entre les mains pour qu'il puisse gérer au mieux son anxiété lorsqu'il se retrouve à proximité de sa phobie dans le monde virtuel.

4.1.1.1 Phobie spécifique

Les phobies spécifiques provoquent une certaine anxiété concernant des objets, des situations ou des animaux en particulier. De manière générale, les personnes souffrant de ces phobies se rendent compte que leur vie n'est pas en danger mais n'arrivent pas à contrôler cette peur.

⁵⁷ <https://tcc.apprendre-la-psychologie.fr/les-phobies.html>

⁵⁸ <https://ressourcessante.salutbonjour.ca/condition/getcondition/phobies>

⁵⁹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Psycho%C3%A9ducation>

4.1.1.1.1 Arachnophobie

L'arachnophobie⁶⁰ est une phobie spécifique qui désigne la peur des araignées, et plus précisément des arachnides, tel que les scorpions et les acariens. Les individus arachnophobes peuvent ressentir une peur plus ou moins excessive face à un arachnide selon l'intensité de la phobie. Certaines de ces personnes peuvent passer à proximité d'araignées sans trop de problème tandis que d'autres ne peuvent à peine en imaginer une sans ressentir une extrême anxiété. Des techniques de relaxation peuvent aider les personnes arachnophobes à gérer leurs peurs mais le traitement des phobies spécifiques repose généralement sur les techniques d'expositions progressive où le patient et le thérapeute doivent travailler ensemble afin de créer des scénarios imaginaires progressivement de plus en plus anxiogènes jusqu'à éliminer cette angoisse.

Aujourd'hui, certaines personnes atteintes d'arachnophobie bénéficient de la TERV pour traiter cette phobie. Certaines recherches ont déjà montré que cette variante est tout aussi efficace que les thérapies *in vivo*. Sean Minns, psychologue et son groupe de recherche de l'université du Texas, à Austin ont effectué un test⁶¹ sur 77 étudiants ayant peur des araignées. Dans le monde virtuel, les étudiants se sont retrouvés face à une tarentule se rapprochant d'eux.

« You could see how physically uncomfortable the participants were. As the spider got closer, people would recoil. That's a good thing, because it means the immersive experience of it being 3D made it feel real » (VR Therapy Makes Arachnophobes Braver Around Real Spiders, Sean Minns, 2019)

Afin de vérifier que la TERV était bien efficace, les élèves ont dû faire face à une vraie tarentule (ne représentant aucun danger pour l'Homme) se trouvant dans un terrarium. Il leur a été demandé de réaliser 14 actions progressives qui consistaient à entrer dans la salle avec l'araignée jusqu'à pouvoir tenir l'araignée en dehors du terrarium. Avant la TERV, la majorité des participants ne pouvaient à peine mettre la main dans le terrarium. A la fin, il s'est avéré que quasiment tous pouvaient mettre la main à plat dans la cage de la tarentule.

⁶⁰ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Arachnophobie>

⁶¹ <https://spectrum.ieee.org/the-human-os/biomedical/devices/spider-video-therapy>

4.1.1.1.2 Acrophobie

L'acrophobie⁶² est la peur excessive des hauteurs et du vide. Cette peur peut se manifester chez les personnes atteintes de cette phobie lorsqu'elles se trouvent dans de hauts immeubles, sur des ponts ou face à toutes autres expositions à des hauteurs. Lorsqu'une personne acrophobe se trouve face à une situation phobogène, elle peut être victime de divers symptômes qui dépendent de tout un chacun comme l'incapacité de bouger ou la perte d'équilibre. Cela peut, dans certains cas extrêmes, mener à une attaque de panique. Les causes de l'acrophobie peuvent être multiples. En général, cela peut être dû à un traumatisme impliquant les hauteurs tel que le fait de tomber d'un haut lieu ou à un facteur génétique si un membre de la famille est lui-même atteint d'acrophobie.

Une étude⁶³ réalisée par « THE LANCET Psychiatry » en 2017 et 2018 à Oxfordshire, en Angleterre a tenté de prouver les bienfaits de la réalité virtuelle comparés aux soins habituels pour des personnes atteintes d'acrophobie. 100 adultes consentants ayant peur des hauteurs ont participé à cette étude. Les critères pour être accepté à l'étude étaient les suivants : être âgé d'au moins 18 ans, avoir obtenu un score d'au moins 30 au *Heights Interpretation Questionnaire* (ce qui correspond à une peur modérée des hauteurs), ne pas être épileptique, ne pas avoir de problème de vision et d'équilibre. Comme pour l'étude réalisée pour les accidents vasculaires cérébraux, les personnes ont été réparties dans deux groupes différents. Le premier groupe bénéficiant d'une thérapie à l'aide de la réalité virtuelle, et le deuxième d'une thérapie standard. La TERV s'est faite à l'aide d'une simulation développée sur *Unity*⁶⁴ par Oxford VR afin d'aider les personnes acrophobes à surmonter leurs peurs. Ce jeu a été pensé afin d'être utilisé seul mais également au côté d'un thérapeute si cela est possible. En effet, un coach virtuel est implanté à la simulation afin de guider la personne tout au long de son parcours dans les différents niveaux.

Le traitement en RV était composé de six séances de 30 minutes sur une période de deux semaines. A la fin de la thérapie, les personnes se trouvant dans le groupe de traitement en RV ont eu de très fortes réductions des scores comparé aux personnes du deuxième groupe qui ont gardé un score plus ou moins similaire qu'au départ. De plus, une interview d'une des personnes ayant participé à la thérapie en réalité virtuelle

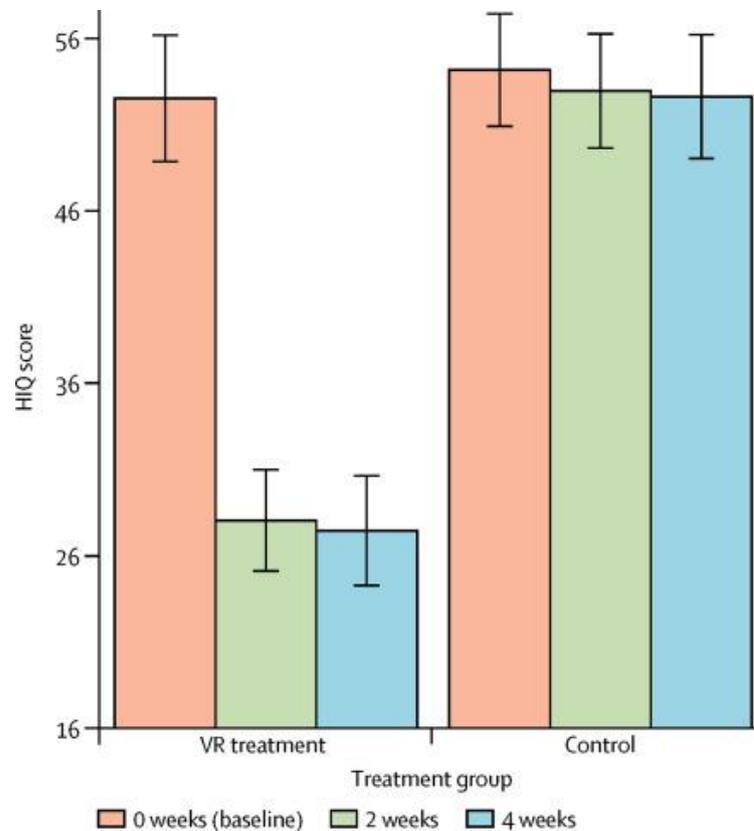
⁶² https://www.maxisciences.com/acrophobie/acrophobie-symptomes-causes-traitement-quest-ce-que-c-est_art39371.html

⁶³ [https://www.thelancet.com/journals/lanpsy/article/PIIS2215-0366\(18\)30226-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanpsy/article/PIIS2215-0366(18)30226-8/fulltext)

⁶⁴ [https://fr.wikipedia.org/wiki/Unity_\(moteur_de_jeu\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Unity_(moteur_de_jeu))

souligne que cette étude a eu un impact dans le monde réel et qu'elle se sent désormais plus à l'aise face aux hauteurs.

Figure 9 : Réduction des symptômes de l'acrophobie



(Sciencesetavenir, Benjamin Robert, 2018)

4.1.1.2 Anxiété sociale

Les phobies sociales⁶⁵ sont caractérisées par la peur d'être humilié, embarrassé, et confronté à toute autre situation sociale pouvant être gênante au milieu de diverses personnes. Comme pour les phobies spécifiques, l'anxiété sociale peut être plus ou moins handicapante. Une personne peut par exemple avoir des difficultés à travailler en groupe ou à faire des présentations tandis que pour d'autres, le fait de sortir de son domicile peut être un élément déclencheur d'une peur intensive. Ce sont souvent des personnes qui manquent de confiance et d'estime de soi qui peuvent mener à une isolation sociale.

Avant l'arrivée de la réalité virtuelle, et aujourd'hui encore, l'anxiété sociale est principalement traitée à l'aide de thérapie cognitive comportementale consistant à participer à des jeux de rôles ainsi que différentes mises en situations réelles mais aussi par la prise de médicaments. Ces thérapies ont pour but de faire acquérir au patient des

⁶⁵ <https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=phobie-sociale-pm>

compétences sociales et pratiques lui permettant de reprendre confiance dans un environnement sûr. Ce genre de traitement est en revanche limité lorsque l'intervention de personnes physiques provoque une trop grande anxiété auprès d'une personne ou que le fait de se rendre dans un lieu demande trop d'effort.

Le fait d'avoir accès aujourd'hui à la TERV permet aux personnes souffrant de cette phobie de faire face à leur peur de manière virtuelle, réaliste, confortable et surtout contrôlée. L'immersion qu'offre la réalité virtuelle est une façon d'engager les patients dans ces diverses situations afin qu'ils reprennent confiance en eux afin de surmonter les situations anxiogènes qu'ils peuvent rencontrer dans la vie réelle sans pour autant se sentir dévisagé. Ces personnes, lorsqu'elles sont immergées dans le monde virtuel, reçoivent diverses réponses émotionnelles et se sentent réellement engagées par les situations leur étant proposées mais avec un sentiment de contrôle qui leur permet de les rassurer. Le thérapeute a accès à la vue du patient afin de pouvoir lui donner des conseils et des méthodes de relaxation tout au long de la thérapie et également, si la situation est trop anxiogène, arrêter la simulation.

En 2013, une étude⁶⁶ ayant pour but de prouver que la thérapie par exposition à la réalité virtuelle pour le traitement des phobies sociale était réellement efficace a été réalisée. Les personnes qui ont participé à cette étude étaient toutes atteintes officiellement de trouble de phobie sociale. Elles ont été séparées en trois groupes différents afin de comparer la méthode de thérapie par exposition *in vivo* ainsi que la TERV. Les personnes incluses dans le troisième groupe n'ont reçu aucun traitement. Huit séances de thérapies ont été organisées pour les deux groupes recevant un traitement, le but étant que les participants puissent à la fin, se présenter et réaliser un discours devant un public. Au terme de la thérapie, les participants des groupes *in vivo* et TERV ont eu des résultats encourageants et ont montré un niveau d'anxiété bien plus bas ainsi qu'une diminution des symptômes comparés aux personnes du troisième groupe. Il a été prouvé également, que cette amélioration perdure dans le temps. En effet, les mêmes personnes ont été rappelées 12 mois après afin de faire un retour de leur anxiété sociale qui ne s'est pas aggravée entre temps. Les résultats de cette étude montrent que la thérapie par exposition à la réalité virtuelle peut être tout aussi bénéfique qu'une thérapie par exposition *in vivo* dans le cas des phobies sociales.

L'avantage que peut avoir la TERV comparé à des thérapies traditionnelles, est qu'elle permet de faire abstraction d'une certaine dose de stress qui peut se développer lors

⁶⁶ <https://nationalsocialanxietycenter.com/2018/01/18/using-virtual-reality-therapy-treat-social-anxiety/>

d'exercices dans un environnement social réel. Il y a aussi la possibilité de pouvoir personnaliser la séance de manière progressive⁶⁷ qui est un atout non négligeable.

4.1.1.2.1 OVR Social engagement

Ce projet lancé en 2020, est développé par Oxford VR, une startup se focalisant sur la réalité virtuelle au Royaume-Uni. *OVR Social engagement*⁶⁸ est basé sur des recherches réalisées par le professeur de psychologie clinique à l'université d'Oxford, Daniel Freeman qui, depuis plus de 20 ans s'intéresse à la réalité virtuelle et les bienfaits qu'elle peut apporter aux personnes atteintes de différents troubles. Le but de ce logiciel est de combiner les connaissances de Daniel Freeman ainsi que l'expérience des personnes ayant vécu des situations d'évitement due à une anxiété sociale.

La simulation consiste en différents scénarios que peut vivre une personne dans son quotidien et qui peuvent provoquer une certaine anxiété comme se rendre chez un médecin. De même que pour la simulation pour l'acrophobie, un coach virtuel est présent afin de guider le patient durant la séance.

Figure 10 : Une scène de la simulation OVR Social engagement



(med-technews, 2020)

4.1.1.3 Agoraphobie

L'agoraphobie⁶⁹ est la peur des espaces publics non familier et plus particulièrement les endroits où le fait de fuir ou de se faire secourir peut s'avérer difficile. Il ne faut pas confondre l'agoraphobie avec la démophobie⁷⁰ qui est la peur des gens ou l'ochlophobie

⁶⁷ <https://venturebeat.com/2020/03/10/oxford-vr-uses-virtual-reality-to-treat-social-anxiety/>

⁶⁸ <https://mhealthspot.com/2020/03/oxford-vr-launch-vr-enabled-social-engagement-to-tackle-anxious-social-avoidance/>

⁶⁹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Agoraphobie>

⁷⁰ <http://www.gerersonanxiete.com/anxiete-sociale/>

⁷¹qui elle, est la peur de la foule. Comme pour l'anxiété sociale, le traitement de l'agoraphobie peut se faire efficacement à l'aide de séances de TCC et de prise de médicaments. Le grand problème avec cette phobie est que tout comme l'aérophobie ou l'acrophobie citées précédemment, son traitement est chronophage pour les thérapeutes par le fait qu'ils doivent sortir de la clinique afin de se rendre à un endroit précis pour exposer le patient physiquement à la source anxiogène. Se rendre dans un train, un avion ou un magasin peut être difficile pour les personnes atteintes d'agoraphobie. Selon l'endroit, cela peut prendre plus ou moins de temps, ce qui peut limiter le nombre de patients que peut prendre en charge une clinique. De plus, pour certaines personnes souffrant d'agoraphobie chronique, la réalité virtuelle peut être bien plus bénéfique que les méthodes classiques car ces individus ont souvent bien plus de difficultés à s'exposer de manière physique à des stimuli phobiques.

Selon une étude⁷² qui a été entreprise par la faculté de psychologie de l'université de La Laguna en Espagne, la TCC à l'aide de la réalité virtuelle ou non et la saisie de médicaments sont des solutions viables mais qui n'ont pas toutes la même efficacité. 27 adultes (majoritairement des femmes) ayant des états civils et des niveaux d'éducatifs différents ont participé à l'étude. 20 de ces personnes étaient diagnostiquées avec une forte agoraphobie qui pouvait déclencher une panique.

Afin de mesurer correctement le niveau d'agoraphobie avant et après le traitement, différents questionnaires ont été utilisés. Tout d'abord le *composite international diagnostic interview*⁷³ (CIDI) qui permet de mettre une échelle sur le contrôle des symptômes de différents troubles, l'*échelle d'anxiété d'Hamilton*⁷⁴, utilisée pour évaluer le niveau d'intensité de l'anxiété et de la dépression et pour finir l'*inventaire de mobilité de l'agoraphobie*⁷⁵ qui aide à déterminer à quel point un patient rentre en phase d'évitement, qu'il soit accompagné ou seul dans différentes situations.

Sept scénarios ont été pensés pour la thérapie à l'aide de la réalité virtuelle. Chacun des patients a été exposé à quatre scénarios, dont un servant d'introduction afin de les adapter à l'environnement virtuel. Parmi les scénarios, un aéroport où le but est d'embarquer, une ballade en voiture sur une autoroute et un trajet en téléphérique pour n'en citer que trois. Ils ont tous en commun le fait qu'il est difficile de s'échapper de ce

⁷¹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ochlophobie>.

⁷² https://www.researchgate.net/publication/5486239_Agoraphobia_Combined_treatment_and_virtual_reality_Preliminary_results

⁷³ https://www.hcp.med.harvard.edu/ncs/ftpdir/adhd/6Q_French_final.pdf

⁷⁴ <https://www.healthsadvisor.com/fr/guest/qs/echelle-hdrs-de-depression-de-hamilton/>

⁷⁵ <https://tcc.apprendre-la-psychologie.fr/catalogue/tests-psychologiques/inventaire-de-mobilite-pour-l-agoraphobie.html>

genre de situations et qu'il n'y ait pas de structures médicales dans les environs en cas de problème.

Un total de onze séances cliniques individuelles ont été réalisées pour les deux groupes utilisant la thérapie. Les trois premières séances consistaient à de la *psychoéducation*⁷⁶ et de la *restructuration cognitive*⁷⁷, elles étaient donc similaires dans les deux groupes. Ensuite, le groupe TERV a continué avec quatre séances de 10 à 12 minutes sur les diverses situations virtuelles proposées et quatre autres séances *in vivo*.

Il faut savoir que les résultats initiaux concernant les questionnaires étaient plus ou moins homogène dans les trois groupes, même si le groupe ayant pris des médicaments était légèrement au-dessus des deux autres groupes au niveau de l'anxiété provoquée par la phobie. Le tableau ci-dessous résume les différents résultats obtenus pour les différents groupes afin de déterminer quelle thérapie était la plus bienfaisante. Bien que le que le nombre de patients soit aussi faible et qu'il ne permet pas vraiment de dire que cette étude fournit des statistiques fiables, le tableau montre que les patients du groupe TERV ont obtenu les meilleurs résultats.

Cette étude aura aussi révélé que les résultats étaient plus significatifs concernant les personnes atteintes d'agoraphobie chronique dans le groupe TERV où elles ont montré une amélioration dans la majorité des éléments. D'autres études plus récentes montrent des résultats similaires ce qui est encourageant. La réalité virtuelle pourrait devenir une thérapie efficace et accessible pour les personnes atteintes d'agoraphobie.

Tableau 1 : Agoraphobie: Comparaison de différentes thérapies

	Venlafaxine	Paroxétine	CBT	VRET
Agoraphobia index	25.50	20.50	60.0	61.50
Body sensations questionnaire	44	2.2	36.30	40.11
Agora-phobic cognitions questionnaire	34.50	31.50	24.90	20.78

(researchgate, Agoraphobia: Combined treatment and virtual reality)

⁷⁶ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Psycho%C3%A9ducation>

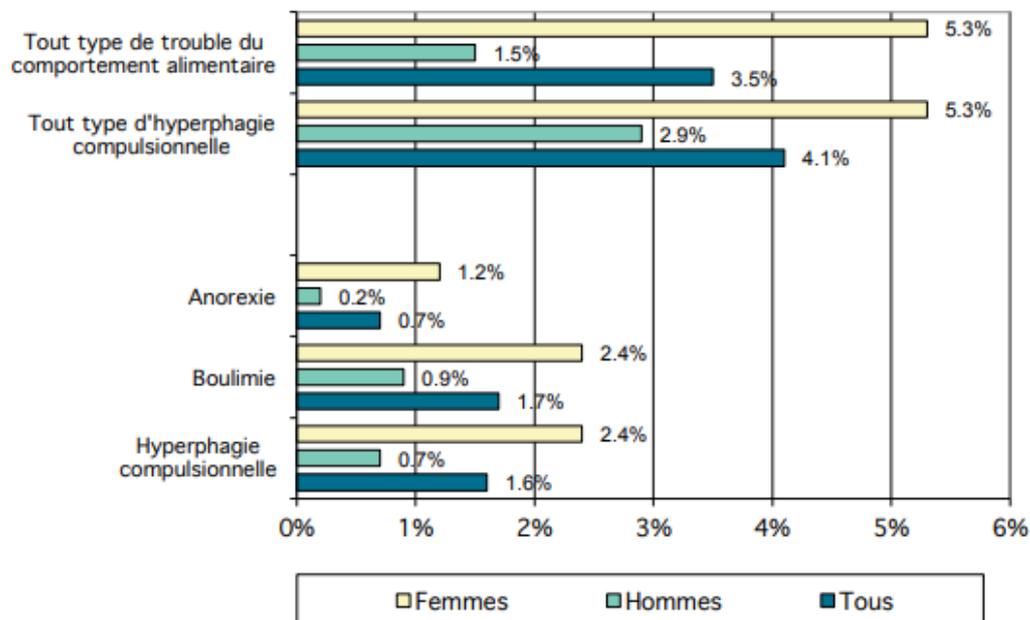
⁷⁷ <https://tcc.apprendre-la-psychologie.fr/la-restructuration-cognitive.html>

4.1.2 Trouble de conduite alimentaire

Les troubles de conduites alimentaires⁷⁸ (TCA) ou troubles de l'alimentation désignent différentes perturbations du comportement alimentaire. Parmi les plus connues, on retrouve l'anorexie mentale, la boulimie et l'hyperphagie. Ces troubles impliquent une perturbation du comportement et/ou de l'alimentation et peuvent mettre la vie d'une personne en danger s'ils ne sont pas traités. Une personne est atteinte de TCA lorsqu'il y a des conséquences négatives pour sa santé mentale ou physique. Ces troubles peuvent être causés par différents facteurs. Ils peuvent être liés à la génétique, à la personnalité, à la pression sociale et d'autres éléments déclencheurs. Différents symptômes peuvent se manifester comme le fait de ne plus manger, de rejeter la nourriture en se faisant vomir ou dans le cas contraire, de consommer une trop grande quantité de nourriture.

Comme le montre le graphique ci-dessous, il semblerait qu'en Suisse, les femmes soient plus touchées par les troubles d'alimentations que les hommes.

Figure 11 : Prévalence à vie des différents TCA, 2010, par sexe



(Boulimie-anorexie, Schnyder et al., 2012)

Les TCA sont des troubles très dangereux et sont à prendre très au sérieux. Selon le site *passportsante*, certaines études montrent que 10% des personnes souffrant d'anorexie décèdent dans les 10 ans suivant le diagnostic. Les méthodes thérapeutiques

⁷⁸ <https://www.healthline.com/nutrition/common-eating-disorders>

standards sont les TCC, les thérapies interpersonnelles, les thérapies familiales et dans le cas les plus graves, l'hospitalisation.

Lors de mon école de recrue en tant que soldat d'hôpital, j'ai pu observer le cas d'une personne atteinte d'anorexie mentale. Ces personnes se restreignent de manger, en général par peur de grossir. Une des étapes de la thérapie consiste à la perception de son corps à l'aide d'un questionnaire. La personne se trouve face à des feuilles contenant des corps de différentes morphologies et doit choisir celui qui semble le plus correspondre au sien. Souvent, les individus atteints d'anorexie mentale se pensent bien plus enveloppée qu'elles ne le sont réellement. La réalité virtuelle permet de faire la même chose mais avec l'avantage d'avoir des points de vue différents lors de l'analyse de ces corps. A l'aide du groupe de recherche transdisciplinaire des troubles du comportement alimentaire, Johana Monthuy-Blanc (directrice d'un groupe de recherche des troubles du comportement alimentaire au Québec) a utilisé *Cybercorps*⁷⁹, une simulation en réalité virtuelle permettant de jauger différentes silhouettes, afin de vérifier qu'une personne est bien atteinte de TCA. Cette simulation s'utilise à l'aide d'un casque Oculus afin d'immerger la personne face à sept morphologies comme si elle se regardait dans un miroir, ce qui donne un effet de profondeur que l'on retrouve plus difficilement sur papier. Ensuite la personne peut se voir dans chacun des corps à la première personne afin de valider son choix concernant sa morphologie. Cela permet ainsi de comparer sa taille réelle comparée à celle qu'elle pense avoir.

Des recherches concernant l'utilisation de la TERV pour le traitement des troubles du comportement alimentaire ont déjà été réalisées et sont encore à ce jour en cours. Les résultats déjà obtenus sont prometteurs et montrent la pertinence que peut avoir l'utilisation de la réalité virtuelle notamment pour le traitement de patients atteints d'anorexie mentale mais pas uniquement.

D'autres simulations en réalité virtuelle voient le jour, comme *Eating disorder*⁸⁰ développée par *Psious*⁸¹. Différents scénarios sont mis à la disposition du patient comme celui nommé « Dressing room » ou vestiaire en français. Dans ce vestiaire, l'individu se voit en tant qu'avatar et peut modifier son apparence afin de la modeler à son image dans la réalité. Le thérapeute peut ensuite insérer dans le monde virtuel les réelles mesures de l'individu. Cela permet de voir la différence entre la morphologie qu'il pense avoir et ses réelles mesures. Une des autres simulations est la commande dans un

⁷⁹ <https://www.journaldemontreal.com/2016/02/15/traiter-lanorexie-en-se-voyant-dans-le-corps-de-quelquun-dautre>

⁸⁰ <https://blog.psious.com/en/eating-disorders-treat-with-virtual-reality>

⁸¹ <https://psious.com/>

restaurant. Le patient se trouve face à une table et simule une commande. Le thérapeute peut personnaliser la simulation afin d'y ajouter certains menus réputés pour être consommés par des personnes atteintes de troubles alimentaires. Le patient sera alors confronté à différentes pensées et émotions qui surviendront à la vue de la nourriture virtuelle. Il est bien évidemment guidé tout au long du scénario de manière contrôlée afin de l'aider à lutter contre son trouble.

Le docteur et psychologue Américain Howard Gurr affirme que l'utilisation de la RV pour le traitement des TCA est bien plus efficace que toutes les autres alternatives qu'il a pu utiliser ses 30 dernières années. Il affirme même que la TERV a traité avec succès 90% des patients atteints de trouble alimentaire et que la psychothérapie et la TCC ont un taux de réussite à 52% au maximum.

« With VR I can control their environment, so I can go through the entire process of desensitizing their anxiety and it's in my office » (How Eating Disorders are Being Treated with Virtual Reality, GURR Howard, 2018).

4.1.3 Stress post-traumatique

Un trouble de stress post-traumatique⁸² (TSPT) est une maladie qui peut toucher n'importe qui ayant survécu ou subi une épreuve traumatisante. Ces personnes subissent et revivent cette expérience dans leur quotidien.

Les symptômes peuvent être très différents selon le traumatisme. Pour un vétéran de guerre ayant par exemple combattu au Moyen-Orient, la vue d'une personne vêtue d'habits traditionnels de ces pays peut générer une réaction de violence ou de fuite. Les personnes atteintes de TSPT peuvent aussi être atteintes d'alcoolisme, de phases colériques spontanées et bien d'autres symptômes handicapants.

La thérapie par exposition standard nécessite que le patient utilise son imagination afin de se souvenir des événements traumatisants avec le thérapeute, or, un grand nombre de vétérans de guerre ont du mal à partager ces souvenirs de manière précise. La TERV est une solution permettant de faciliter le processus de rappel de ces souvenirs en revivant les événements de manière semblable dans un monde simulé en trois dimensions. Lorsque les patients sont confrontés aux événements traumatisants de manière virtuelle et répétée, ils ont plus de facilité à en parler. Selon les dires du docteur Rizzo, un chercheur de l'université de Californie du Sud et développeur de *StrongMind*⁸³ (simulation en réalité virtuelle permettant de reproduire des scènes de guerre), cela leur permet de parler de choses dont ils n'ont jamais parlé à personne auparavant, car les

⁸² https://fr.wikipedia.org/wiki/Trouble_de_stress_post-traumatique

⁸³ <https://www.soldierstrong.org/strongmind/>

souvenirs n'ont plus le même pouvoir émotionnel intense et douloureux. Cette méthode est donc très importante car elle a l'avantage de ne pas être trop coûteuse et est également sans risque par le contrôle que peut avoir le thérapeute sur la séance.

4.1.3.1 Virtual Vietnam

La première utilisation de la réalité virtuelle à des fins thérapeutiques pour les troubles de stress post-traumatique a eu lieu en 1997 avec *Virtual Vietnam*, sur des militaires. Cette simulation était destinée aux vétérans ayant participé à la guerre du Vietnam et souffrant de TSPT. Le but de ce projet était de pouvoir créer un environnement virtuel plus ou moins réaliste afin de confronter, de manière sûre et contrôlée, les militaires à des Feedbacks en majorité auditifs (tel que les bruits de coups de feu) et visuels (comme le paysage et les hélicoptères) similaire à ce qu'ils ont pu vivre sur le champ de bataille. Ces éléments pouvaient facilement être contrôlés par un thérapeute afin de ne pas brusquer le patient et réduire le niveau d'anxiété de celui-ci progressivement. L'ancien combattant était ainsi immergé dans un monde virtuel représentant le Vietnam où il revivait son expérience traumatisante tout en ayant le soutien du thérapeute lui expliquant comment faire face au mieux à ses peurs.

Le projet a été réalisé par des chercheurs de Georgia Tech et de l'Université Emory. Il a été supervisé par le docteur Larry Hodges et proposait deux scénarios. Le premier permettait de se mettre aux commandes d'un hélicoptère de combat virtuel. L'utilisateur était alors assis sur un siège équipé de basse permettant de reproduire les vibrations ressenties durant un vol. Le deuxième lui, se déroulait debout et permettait de se déplacer à l'aide d'un joystick afin traverser un champ de bataille.

Entre 1998 et 1999, des tests⁸⁴ ont été réalisés, notamment dans l'hôpital d'Atlanta afin de savoir si l'utilisation d'un tel outil pouvait être bénéfique pour des militaires victimes de trouble de stress post-traumatique. Il a été prouvé que pour les militaires ayant persévéré jusqu'à arriver au bout de la thérapie, cette méthode est concluante et ces personnes ont présenté une réduction des symptômes liés au TSPT. En revanche, il est très difficile psychologiquement de revivre une telle expérience. Sur les 13 personnes ayant participé, la moitié des militaires a décidé de ne pas aller au bout de la thérapie car trop difficile à supporter. Lors d'un documentaire sur la réalité virtuelle et l'utilisation de *Virtual Vietnam*, un vétéran de cette guerre, a pu affirmer que s'il n'avait pas eu la chance de pouvoir utiliser la TERV, il aurait probablement fini dans un hôpital. D'autres études ont ensuite été réalisées comme un essai clinique sur 16 vétérans de la guerre du Vietnam qui ont été exposés aux deux environnements proposés par la simulation

⁸⁴ cs.unc.edu/~brooks/WhatsReal.pdf

« Virtual Vietnam ». 13 séances de thérapies d'exposition ont été réparties sur cinq à sept semaines. A la fin de cette thérapie, une grande réduction des symptômes liés au TSPT a pu être observée.

Figure 12 : Zone d'atterrissage – Virtual Vietnam



(gatech)

4.1.3.2 StrongMind

Le développement de *StrongMind* a débuté en 2004. Au départ nommé *Virtual Irak / Afghanistan* puis ensuite *BraveMind*, ce logiciel est également une simulation en réalité virtuelle destiné aux vétérans de guerre mais comportant un plus grand nombre de scénarios que *Virtual Vietnam*. Le projet a pris de l'ampleur en 2011 après des résultats encourageants de *Virtual Irak / Afghanistan*. L'application a pu être reconstruite de zéro et financée par l'armée Américaine. Ce financement a notamment permis de changer de moteur de jeu afin d'utiliser *Unity*, plus moderne et efficace ainsi que de prendre en compte les diverses remarques des cliniciens et patients ayant utilisé le logiciel précédent.

La version actuelle contient un plus grand nombre de paysages variés représentant les pays d'Irak et d'Afghanistan. Le thérapeute a la possibilité de choisir l'environnement dans lequel sera projeté l'utilisateur et le personnaliser afin de recréer le plus fidèlement possible les événements traumatisants du militaire. Ces personnalisations peuvent être temporelles, auditives, visuelles et également odorantes. Tous ces éléments sont ainsi disposés de manière que le patient puisse raconter les événements tout en les revivant dans le monde virtuel. Le thérapeute à l'aide d'un ordinateur peut déclencher ainsi à tout moment des explosions, des coups de feu, des cris, et d'autres éléments pouvant rendre l'immersion plus forte afin que le patient apprenne au mieux à gérer son anxiété.

4.2 Addictions

L'addiction⁸⁵, est une maladie chronique complexe qui représente l'envie de faire ou de consommer quelque chose d'une manière compulsive et ce, bien que les répercussions puissent être néfastes. Les personnes atteintes d'addictions ressentent un phénomène de manque qui se manifeste lorsqu'elles sont privées d'un besoin qui n'est pas vital et qui souvent peut leur causer des problèmes, notamment sur le plan de la santé mentale et physique. Au fur et à mesure qu'une personne consomme certaines substances comme le tabac ou l'alcool, une certaine tolérance se développe dans le corps ce qui les pousse toujours à en consommer une plus grande quantité afin de ressentir les effets recherchés. Initialement, l'addiction ne concernait que la consommation de substances psychoactives, mais aujourd'hui les jeux vidéo ainsi que les jeux d'argent sont reconnus comme une réelle addiction pouvant provoquer des troubles addictifs⁸⁶.

Différents traitements sont efficaces contre les différentes addictions. La première étape nécessaire avant toute thérapie est la prise de conscience de l'individu. Il doit se rendre compte du fait qu'il est atteint d'une addiction et ne pas le nier. Suivant le type d'addiction, certains types de traitements sont plus efficaces que d'autres. A ce jour, la prise de médicaments permettant de réduire les envies de consommation de stupéfiants ou la participation à différentes thérapies sont les solutions les plus efficaces. D'autres méthodes comme l'hospitalisation peuvent permettre à des individus qui nécessitent une aide plus importante de suivre des thérapies dans des environnements contrôlés et sains.

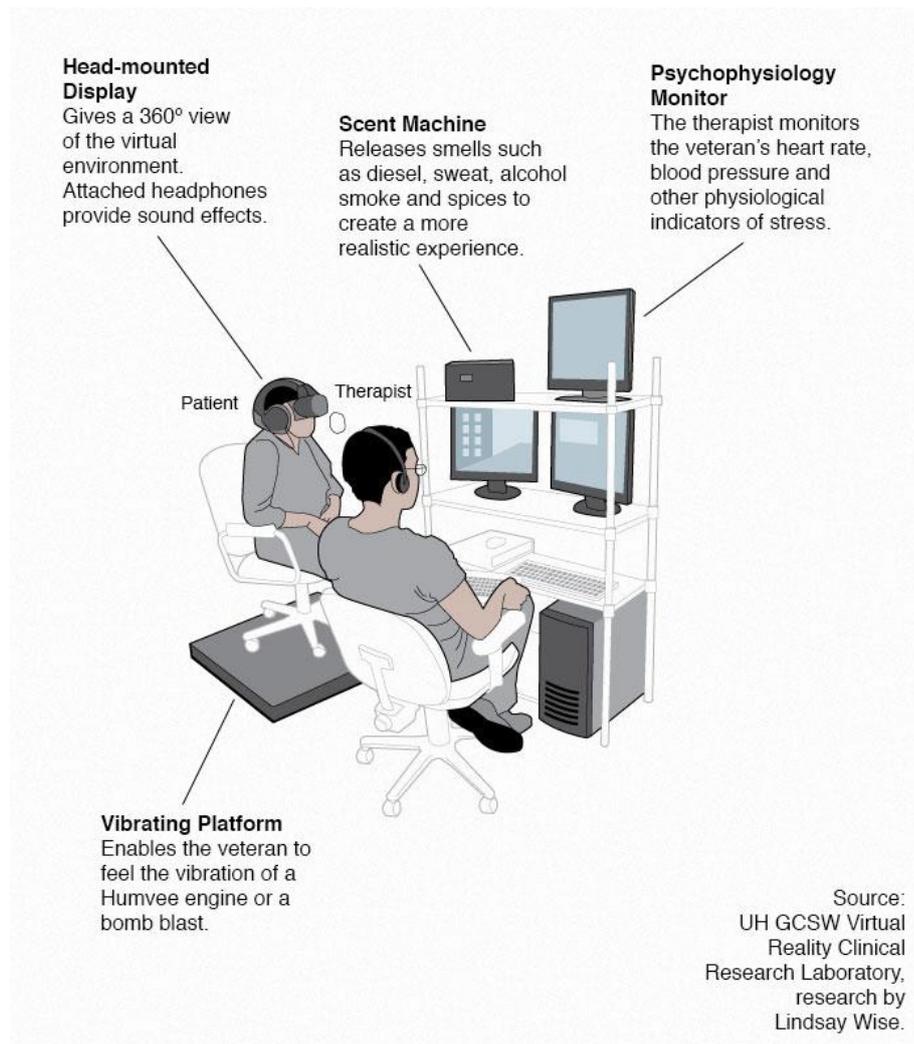
4.2.1 Substances psychoactives

Depuis maintenant quelques années, des recherches ont été réalisées afin de prouver l'efficacité de la réalité virtuelle dans le traitement de différentes addictions aux substances psychoactives telle que la nicotine ou l'alcool.

⁸⁵ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Addiction>

⁸⁶ https://www.chuv.ch/fileadmin/sites/cje/documents/CJE_20_reponses_video_internet.pdf

Figure 13 : Illustration d'une thérapie à l'aide de la réalité virtuelle



(Arpost, 2019)

Tout comme les phobies, une thérapie contre les addictions peut consister à mettre une personne face à la source pas phobogène cette fois-ci mais addictive comme une bouteille d'alcool. Le but étant d'évoquer l'envie que peut ressentir la personne face à cette substance afin de lui apprendre à la gérer⁸⁷.

Avec la réalité virtuelle, on ajoute un contexte et une certaine immersion. Il est possible d'exposer le patient à des endroits communs où celui-ci à l'habitude de fumer, comme un arrêt de bus ou un bar pour le cas d'une addiction à l'alcool. Le thérapeute peut ainsi personnaliser le monde virtuel où sera amené le patient afin d'y ajouter une touche personnelle comme la réplique parfaite de sa bouteille d'alcool préférée. Certains événements peuvent être également personnalisés afin de travailler des

⁸⁷ <https://blog.limbix.com/virtual-reality-a-powerful-new-tool-for-addiction-treatment-centers-a9dc7437fdd9>

techniques de refus face à un serveur virtuel proposant un verre. La personne en cours de sevrage peut ainsi, à l'aide de cette simulation apprendre à réagir face à ses envies tout en ayant un médecin à proximité durant toute la séance. Celui-ci peut ainsi le surveiller et le guider lorsqu'il est trop difficile de résister à la tentation. Le fait de rejeter leur dépendance dans ces différents scénarios virtuels font gagner aux patients une certaine confiance en soi qui leur permet de faire de même dans le monde réel. Il est important de préciser que la RV à elle seule ne peut pas traiter une addiction mais elle est un outil qui permet d'éviter les rechutes pour les personnes en cours de sevrages

4.2.2 Jeux vidéo et Internet

Depuis le 25 mai 2019⁸⁸, les addictions aux jeux vidéo et aux jeux d'argent sont reconnus comme de réels troubles psychologiques par l'assemblée mondiale de la santé, l'organe décisionnel suprême de l'OMS. On peut parler d'addiction lorsque le joueur s'exécute à cette occupation de manière excessive et lorsque qu'une augmentation du nombre d'heures passées devant l'écran peut être perçue. L'addiction auprès de ces jeux peut être liée aux mécanismes de récompenses⁸⁹ auxquelles le joueur peut faire face. Ces récompenses peuvent être de formes différentes comme de l'argent virtuel et de la cosmétique. Certaines de ces récompenses peuvent être obtenues à l'aide d'argent réel ou de temps passé sur le jeu comme les fameuses *loot box* ou coffres à butin en français qui peuvent rappeler en quelque sorte les machines à sous. Un des types de jeux les plus addictifs sont les *MMORPG*⁹⁰ (Jeu de rôle en ligne massivement multijoueur) qui demandent une certaine implication dans le jeu afin de pouvoir avoir accès à la majeure partie du contenu proposé. Parmi les plus connus, nous pouvons citer *World of Warcraft* et *Final Fantasy XI* qui dominent⁹¹ actuellement le monde du MMORPG. Afin de pouvoir progresser et pouvoir accéder au contenu de fin de jeu, le joueur doit s'engager socialement et être disponible certains jours de la semaine afin de pouvoir terminer des donjons et raids à l'aide d'une guilde (groupe de joueurs) permettant d'acquérir le meilleur équipement disponible.

En plus des récompenses, un autre aspect des jeux vidéo peut rendre cette occupation addictive. Cet aspect, qui n'est pas des moindres est l'évasion que les jeux peuvent proposer. En effet, ce désir de s'évader de la réalité est pour certaines personnes peut contribuer à une réaction d'évitement des problèmes pouvant survenir dans la vie réelle.

⁸⁸ <https://www.unige.ch/medecine/fr/faculteetcite/media/laddiction-aux-jeux-video-reconnue-comme-maladie-mentale-par-loms/>

⁸⁹ <https://www.revmed.ch/RMS/2016/RMS-N-531/Addiction-aux-jeux-video-que-du-virtuel>

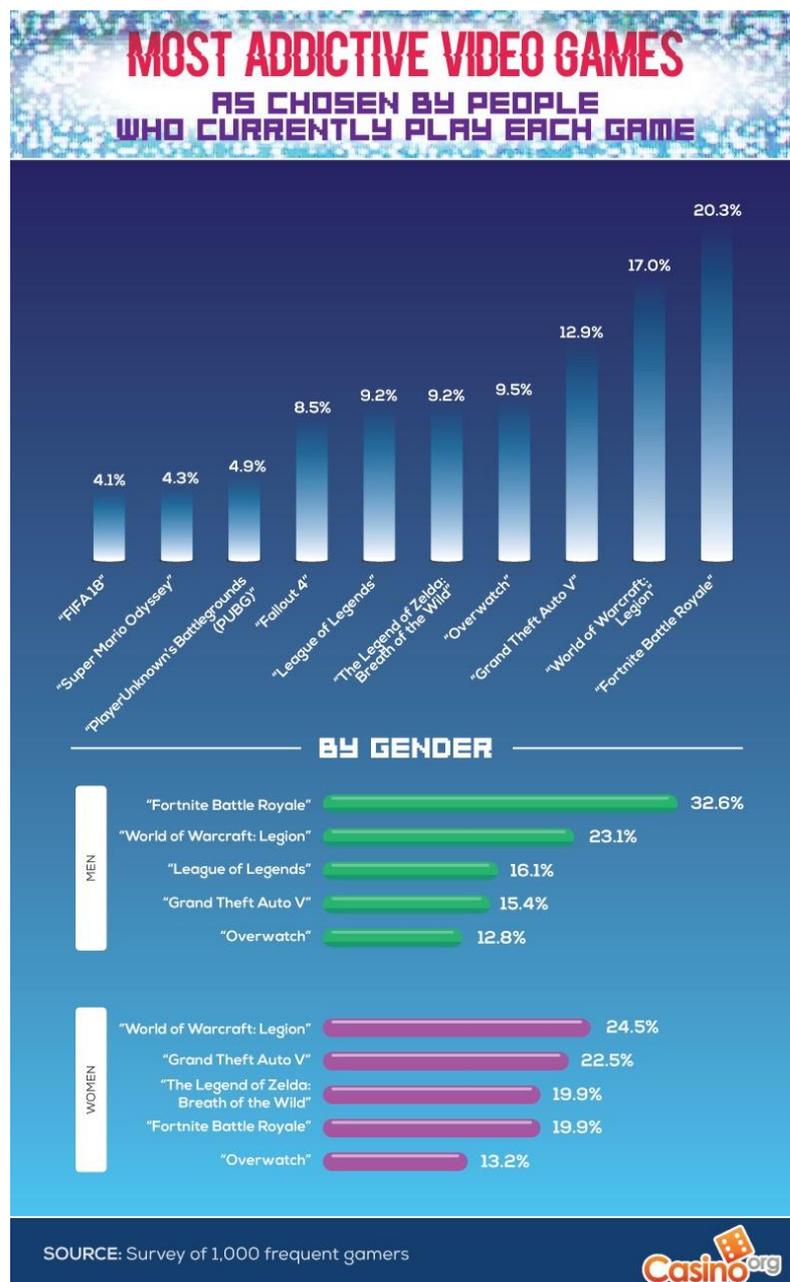
⁹⁰ https://fr.wikipedia.org/wiki/Jeu_de_r%C3%B4le_en_ligne_massivement_multijoueur

⁹¹ <https://levelskip.com/mmorpgs/Final-Fantasy-XIV-vs-World-of-Warcraft-Which-MMORPG-is-Right-For-You>

Les conséquences d'une telle addiction peuvent être émotionnelles, relationnelles, physiques mais aussi professionnelles et scolaires si l'individu n'est pas pris en charge rapidement.

Comme le montre l'image ci-dessous, selon un millier de joueur, la plupart des jeux vidéo addictifs sont pour la plupart des jeux en ligne qui permettent d'obtenir des récompenses en y consacrant du temps comme *Fortnite*, *League of Legends* et d'autres qui nécessitent une grande implication comme *Wow*.

Figure 14 : Les jeux vidéos les plus addictifs



(Casino, 2018)

Il existe pour le moment peu de recherches qui visent à montrer l'efficacité de différentes approches thérapeutiques concernant l'addiction aux jeux vidéo mais il semblerait que l'approche cognitive comportementale, les groupes de soutiens ainsi que l'hospitalisation semblent être des solutions qui fonctionnent.

En ce qui concerne la réalité virtuelle, une étude⁹² réalisée en Corée a tenté de comparer les effets d'une TERV avec une TCC standard. L'étude a commencé lorsque des études sur imagerie cérébrale ont affiché un dysfonctionnement du circuit de récompense du cerveau de personnes atteintes de dépendance aux jeux en ligne, très réputés dans le pays. Les personnes impliquées dans cette étude ont émis l'hypothèse que la thérapie par exposition à la réalité virtuelle pour ces jeux permettrait d'améliorer la connectivité fonctionnelle en stimulant le système limbique⁹³ qui a un rôle dans le comportement et les différentes émotions que l'on peut ressentir.

Un total de 24 personnes adultes souffrant d'addiction aux jeux en ligne ont été séparées en deux groupes, TCC et TERV. Avant le début de la thérapie, les deux groupes ont réalisé l'IAT⁹⁴ (Internet addiction Test) qui a permis de mesurer pour chacun, l'utilisation excessive d'Internet. Certaines zones du cerveau ont été observées à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle afin d'examiner l'activité cérébrale et le fonctionnement de leur cerveau.

À la fin du traitement, tous les participants ont répondu une nouvelle fois au test de l'addiction à Internet et ont montré des réductions par rapport aux résultats initiaux. Les deux groupes ont montré des résultats positifs envers différentes zones du cerveau comme par exemple au niveau du cortex cingulaire qui a été particulièrement affecté lors du traitement en RV. On peut donc dire que la TERV semble avoir des effets positifs qui permettent de réduire l'addiction aux jeux en ligne. Elle montre également des effets similaires à la TCC et à l'air d'avoir un certain impact sur différentes régions du cerveau.

4.3 C2Care

C2Care⁹⁵ est une start-up Française créée en 2005 qui développe des solutions thérapeutiques à l'aide de la réalité virtuelle. Aujourd'hui, cette entreprise compte plus de 176 environnements à trois dimensions et 2000 clients dont 15 centres hospitaliers universitaires, 50 cliniques et 300 cabinets libéraux⁹⁶. L'entreprise aurait à ce jour traité plus de 22'000 patients. Le champ d'actions de C2Care a bien évolué avec le temps, il

⁹² <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169260716000079>

⁹³ https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_limbique

⁹⁴ <https://www.addictaide.fr/outil/test-iat-internet-addiction-test/>

⁹⁵ <https://www.c2.care/fr/>

⁹⁶ <https://www.usine-digitale.fr/annuaire-start-up/c2care,924434>

existe aujourd'hui des jeux vidéo prévus pour des thérapies psychologiques, des rééducations physiques, des pertes d'autonomie pour les établissements accueillant des personnes âgées et des formations pour le personnel soignant.

« En tant que médecin psychiatre et chercheur, je conseille d'utiliser effectivement, les environnements construits par C2Care car ce sont des environnements qui se veulent réalistes, qui ont été conçus sous ma supervision, donc sous la supervision d'un professionnel qui a eu à traiter des milliers de patients en thérapie par exposition à la réalité virtuelle. Les environnements sont variés, sont vraiment accessibles et je pense très sincèrement que c'est l'une des meilleures offres à cette heure dans le monde. » (Présentation des logiciels de TERV C2Care par le docteur Eric Malbos, MALBOS Eric, janvier 2020)

Figure 15 : Casque C2Care



(Tcc, 2020)

5. Les effets de la RV sur le cerveau

Le cerveau⁹⁷, indispensable pour notre corps est l'un de nos six organes vitaux. Il nous permet de réaliser les diverses actions que l'on exécute dans la vie de tous les jours, comme le fait de respirer, de manger⁹⁸. En plus de ces actions, c'est également grâce à lui que nous pouvons ressentir des émotions et apprendre de nouvelles choses. En marche tous les jours à toutes heures, il est sans arrêt à l'affût d'informations que peut fournir d'autres organes comme les yeux et les oreilles. Toutes ces informations sont transmises à l'aide de neurones, des cellules qui communiquent à l'aide de signaux électriques. Toutes ces informations reçues par le corps passent par le cerveau et sont traitées dans différentes régions en fonction de l'information.

Il existe encore bien des choses que l'Homme ne sait pas concernant la façon dont la réalité virtuelle affecte notre cerveau, mais on sait tout de même qu'elle a bel et bien des effets sur celui-ci qui peuvent être bénéfiques ou non. Depuis quelques années maintenant, des recherches concernant les impacts qu'a la RV sur les différentes régions du cerveau à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle⁹⁹ ont été réalisées.

Un problème bien connu de la réalité virtuelle est le manque de proprioception¹⁰⁰ qu'elle peut occasionner. La proprioception est la perception, consciente ou non, de la position des différentes parties du corps. Elle permet de nous rendre compte où notre corps est positionné dans l'espace lorsque l'on est assis sur un siège par exemple. Le fait de se déplacer à l'aide d'un joystick ne donne pas la même sensation que lorsque l'on se déplace avec nos jambes. De plus, il n'y a aucune contribution de la part du système vestibulaire (oreille) qui est responsable de l'orientation dans l'espace et l'équilibre. C'est notamment à cause de ce manque d'informations que certains individus peuvent ressentir un sentiment de cyber-malaise¹⁰¹ lors de leurs expériences en réalité virtuelle. Une autre raison pouvant provoquer des nausées est la réception de deux signaux contradictoires par le cerveau. En effet, lorsque l'on se trouve dans un monde virtuel, nous restons immobile la majorité du temps mais nous pouvons nous déplacer à l'aide d'une manette ou autre. A ce moment, nos yeux communiquent l'information comme

⁹⁷ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cerveau>

⁹⁸ <https://www.lumni.fr/video/a-quoi-sert-le-cerveau>

⁹⁹

https://fr.wikipedia.org/wiki/Imagerie_par_r%C3%A9sonance_magn%C3%A9tique_fonctionnelle

¹⁰⁰ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Proprioception>

¹⁰¹ <http://w3.uqo.ca/cyberpsy/index.php/cybermalaises/>

quoi nous sommes en mouvements, tandis que notre système vestibulaire « pense » que l'on est immobile. C'est un peu ce qu'il se passe avec le mal de transport que nous avons quasiment tous vécu au moins une fois dans notre vie.

Bien qu'il y ait des personnes plus sensibles que d'autres au cyber-malaise causé par la réalité virtuelle, il existe différents moyens permettant de le réduire voir même de l'éliminer. Le fait de pouvoir observer ses mains dans le monde virtuel, d'avoir un taux de rafraichissement d'image à 60 images par secondes, d'avoir une faible latence et un son en accord avec l'environnement virtuel peuvent être des éléments pouvant réduire le cyber-malaise. Cela pourrait être grâce à ce sentiment de présence qui est amplifié. Cette présence définit comment et où l'utilisateur se perçoit dans le monde virtuel. Il peut être nécessaire de mettre le visiocasque plusieurs fois pour que cette présence soit encrée dans le cerveau de l'utilisateur.

« When we're talking about multisensory experience, all of this needs to come together in harmony, because one error can shatter the illusion » (Virtual reality's new tricks : How it fools your brain into having a "real" experience, Mayank Mehta)

5.1 Zones du cerveau impactées

Lorsque nous sommes plongés dans un monde virtuel, différentes régions de notre cerveau peuvent être actives ou non. Nous avons par exemple l'hippocampe, une zone liée à la mémoire, à l'apprentissage et la localisation spatiale. D'autres zones telles que le cortex préfrontal, le gyrus frontal ainsi que le cervelet étaient également « activées » lorsque des personnes atteintes de dépendance au tabac étaient mises face à leur addiction dans un monde virtuel¹⁰².

5.1.1 Hippocampe

Tous les êtres humains possèdent deux hippocampes¹⁰³ se trouvant sur chaque côté du cerveau. Tous les jeux jouent un rôle essentiel quant à la mémoire (court et long terme) et la façon dont on se déplace dans l'espace. D'après certaines recherches, il semblerait que l'hippocampe se trouvant dans l'hémisphère droit se charge de la mémoire spatiale tandis que le gauche, s'occupe des différents traitements émotionnels.

Il existe deux types de cellules se trouvant dans l'hippocampe qui « encodent » les différentes informations liées à l'espace et agisse comme une sorte de GPS interne qui nous permettent de connaître notre position en temps réel (navigation spatiale). Elles permettent également la mémorisation.

¹⁰² <https://www.healio.com/news/psychiatry/20150625/virtual-reality-therapy-may-improve-alcohol-dependence>

¹⁰³ [https://fr.wikipedia.org/wiki/Hippocampe_\(cerveau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hippocampe_(cerveau))

Selon des recherches scientifiques, cette partie du cerveau ne réagirait pas de la même façon dans un monde réel et virtuel¹⁰⁴. Elle serait également en lien avec différentes maladies tel que l'Alzheimer ainsi que les accidents vasculaires cérébraux.

5.1.1.1 Cellule de lieu

C'est en 1971 que le neuroscientifique John O'Keefe et le docteur Jonathon Dostrovsky ont découvert ces cellules lors d'expériences sur des rats. Les cellules de lieux¹⁰⁵ sont des neurones se trouvant dans l'hippocampe. Elles enregistrent les différents éléments se trouvant à proximité afin de savoir où l'on se trouve dans l'espace. Elles sont donc importantes pour la navigation spatiale nous permettant de nous rendre d'un point A à un point B. Lors d'expériences sur des rats, les chercheurs ont pu remarquer que ces cellules s'activaient lorsque ceux-ci se rendaient dans des endroits particuliers nommés champs de lieu¹⁰⁶.

5.1.1.2 Cellule de grille

Les cellules de grille¹⁰⁷ ont été découvertes en 2005 par le couple de neuroscientifiques norvégiens Edvard Moser et May-Britt Moser ainsi que certaines de leurs élèves. Ces neurones nous permettent de connaître notre position dans l'espace. Ils s'activent à différents moments et « marquent » la localisation comme des coordonnées sur une carte.

5.1.1.3 Etude sur des rats en réalité virtuelle

Des études¹⁰⁸ ont été réalisées sur des rongeurs car il semblerait que leur système neuronal fonctionne de la même manière pour nous. Plusieurs études montrent que lorsqu'un rat retourne à un endroit spécifique d'un labyrinthe physique, ses cellules de lieu et de place étaient actives. En revanche, une étude a révélé que ces communications entre neurones de l'hippocampe se font beaucoup moins dans un monde virtuel. 60% des neurones se trouvant dans l'hippocampe sont inactives sur ces rongeurs lorsque ceux-ci sont dans un monde virtuel. L'étude a également montré que les rats, se déplaçant sur un tapis roulant dans le monde virtuel, n'avaient pas formé une carte mentale¹⁰⁹ de l'environnement virtuel dans lequel ils se trouvaient. Cette capacité de créer cette carte a été définie par le psychologue Edward Tolman en 1940. Elle nous permettrait de s'orienter dans l'espace de façon optimale d'un point A à un point B. Les

¹⁰⁴ <https://www.sciencedaily.com/releases/2014/11/141124162926.htm>

¹⁰⁵ https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_de_lieu

¹⁰⁶ https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_de_lieu#Champs_de_lieu

¹⁰⁷ https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_de_grille

¹⁰⁸ <https://www.livescience.com/49021-virtual-reality-brain-maps.html>

¹⁰⁹ <https://lejournal.cnrs.fr/articles/les-dessous-du-gps-cerebral>

chercheurs en ont conclu que pour les rats, le fait de se trouver dans un monde virtuel réduirait leur capacité à savoir où ils se trouvent.

5.2 Plasticité cérébrale

Il faut savoir que le cerveau évolue durant toute notre vie¹¹⁰ et est en quelque sorte « modelable ». Modelable car les connexions entre les neurones peuvent changer. C'est ce que les neuroscientifiques appellent la neuroplasticité. Lorsque l'on pense, ressent des émotions ou faisons certaines actions, le cerveau est actif et fait travailler son réseau neuronal. Le cerveau, à force de réaliser certaines tâches, s'habitue en quelque sorte à prendre le même chemin neuronal et ainsi, exécute cette action de manière plus évidente. Nous pouvons prendre l'exemple des révisions de vocabulaires. Si nous devons apprendre un nouveau langage en partant de zéro et que nous apprenons une certaine quantité de vocabulaire par semaine, nous finirons par connaître un bon nombre de mots, à condition de bien travailler. C'est le phénomène de plasticité cérébrale qui se manifeste lorsque nous sommes exposés à un stimulus avec une quantité suffisante de répétitions et d'intensités.

La neuroplasticité permet donc de s'adapter, d'apprendre, mais aussi de recréer des connexions entre différentes zones du cerveau en fonction de l'environnement et des expériences vécues. Les thérapies utilisant la réalité virtuelle permettent aujourd'hui de créer une stimulation nerveuse significative afin de travailler sur la plasticité cérébrale du patient en engageant grandement la participation active de ces personnes dans une formation multisensorielle afin de favoriser la réadaptation cognitive et motrice.

Lorsqu'une personne est atteinte de lésion cérébrale, par exemple après un AVC, il est possible que celle-ci ait des difficultés à réaliser certaines actions basiques de la vie quotidienne comme le fait de manger, ou attraper un objet se trouvant en hauteur. La raison est que ces mouvements reposent sur un groupe d'actes moteurs traités dans le cerveau et dans le corps. Lorsqu'une partie du cerveau est atteinte, certaines fonctions motrices des membres inférieurs mais aussi des membres supérieurs peuvent être impactées. La récupération de ces capacités motrices est souvent un processus lourd pour le patient et qui prend du temps. Lors de séances de rééducations, les physiothérapeutes vont chercher à faire répéter certains mouvements exécutés dans la vie quotidienne afin de faire travailler ce mécanisme de plasticité cérébrale. Les jeux vidéo en RV permettent de réaliser les mêmes mouvements de manière plus ludique.

¹¹⁰ <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/corps-humain-plasticite-cerebrale-15833/>

5.3 Tromper le cerveau

Notre cerveau peut parfois être « naïf » et peut se faire manipuler. Lorsque nous nous trouvons dans un monde virtuel convaincant, plus l'illusion est forte plus nous pouvons alors sentir une sensation de présence dans le monde virtuel.

Parmi les différentes thérapies s'appuyant de la technologie de la réalité virtuelle énoncées précédemment, il y a la neurothérapie qui peut être utilisée afin de soulager certaines douleurs physiques.

5.3.1 Soulagement des douleurs

En plus des différentes thérapies citées précédemment, la réalité virtuelle est également utilisée pour le soulagement des douleurs¹¹¹ aiguës et chroniques. Elle permet par exemple de réduire l'inconfort que peuvent provoquer ces douleurs pour des patients atteints d'un cancer en phase de chimiothérapie ou des grand-brûlés. C'est une méthode qui serait apte à apporter d'énormes avantages, notamment au niveau de la santé car elle pourrait remplacer ou limiter¹¹² l'utilisation de substances addictives comme les opioïdes¹¹³, des médicaments permettant de soulager de fortes douleurs.

Lorsque nous sommes immergés dans un monde virtuel, le cerveau est détourné de la réalité. Le but va être de faire en sorte de fournir des expériences agréables afin de faire oublier au cerveau qu'une douleur est présente.

De plus en plus d'études¹¹⁴ sont réalisées afin de démontrer que la réalité virtuelle peut bel et bien être efficace et sans danger quant à l'atténuation des douleurs de différentes pathologies et de l'anxiété pouvant être provoquée lors de soins. Il semblerait que pour la plupart, cette hypothèse soit correcte comme le démontre une étude¹¹⁵ réalisée à Los Angeles auprès de 120 patients qui ressentaient des douleurs de niveaux différents (modérés à sévères). Les patients ont été séparés en deux groupes différents. 61 personnes ont utilisé la réalité virtuelle, et 59 ont regardé des émissions de relaxation guidée sur une télévision en plus de lecture. Avant et durant les différentes séances, les médecins demandaient aux patients l'intensité de la douleur sur une échelle de un à dix. Pour le groupe télévision, les scores ont baissé de 0.46 points tandis que pour le groupe RV, 1.76. Il semblerait également que les patients atteints de douleurs sévères ont

¹¹¹ <https://www.realite-virtuelle.com/cerveau-realite-virtuelle-dangers/>

¹¹² <https://www.cdc.gov/drugoverdose/epidemic/index.html>

¹¹³ <https://www.camh.ca/fr/info-sante/index-sur-la-sante-mentale-et-la-dependance/la-dependance-aux-opioides>

¹¹⁴ <https://www.healthline.com/health-news/vr-can-help-treat-severe-pain#VR-can-help-distract-people-from-their-pain>

¹¹⁵ <https://www.healthline.com/health-news/vr-can-help-treat-severe-pain#VR-can-help-distract-people-from-their-pain>

rapporté de meilleurs retours concernant la réalité virtuelle avec une baisse d'environ trois points qui est une diminution tout de même importante.

5.3.1.1 Douleurs fantômes

Les douleurs fantômes¹¹⁶ concernent un grand nombre de personnes ayant subi une amputation. Elles ont l'impression que la partie du corps manquante est toujours présente. Ces douleurs, comparables à des brûlures, crampes voire même à des coups de poignards peuvent persister ou disparaître durant la première année. Des théories affirment que le fait que les instructions envoyées par le cerveau au membre amputé n'engendrent aucun retour sensoriel soit la source de la douleur.

Il existe différentes méthodes qui permettent de traiter les douleurs fantômes. Parmi elles, les thérapies médicamenteuses ainsi que les interventions chirurgicales. En revanche toutes ne fonctionnent pas tout le temps et semble uniquement réduire la douleur afin de soulager le patient et ne permettent pas de la supprimer définitivement.

Une autre méthode bien connue est la thérapie du miroir¹¹⁷. Elle consiste à placer un miroir entre le membre amputé et le membre sain. Cela permet de créer l'illusion visuelle au patient qu'il détient encore le membre amputé. En regardant le côté où le membre est intact, il peut faire des mouvements symétriques afin d'avoir l'impression qu'il peut bouger et reprendre le contrôle du membre amputé. Cette illusion a des effets psychologiques qui permettraient de réduire la douleur fantôme.

La réalité virtuelle s'inspire du même principe d'illusion. Dans le cas d'une amputation d'une jambe, le patient est amené dans un monde virtuel à l'aide d'un visiocasque où il est en possession de ses deux jambes. Le jeu nécessitera qu'il bouge ces deux jambes afin de se déplacer et interagir avec divers éléments. Les mouvements de la jambe manquante est suivie par des capteurs de mouvement se trouvant sur le membre résiduel. Ces jeux permettent de ressentir des sensations réalistes comme le fait d'avoir sa jambe bougeant dans l'espace. Selon le docteur Laurel Buxbaum¹¹⁸, une grande partie des personnes ayant participé aux thérapies en réalité virtuelle pour les douleurs fantômes ressentent moins de douleurs et se sentent plus motivées à sortir de chez eux.

Concernant les études effectuées à ce sujet, certaines sont en cours et il reste beaucoup à apprendre sur ce phénomène mais les résultats des traitements avec la RV sont positifs.

¹¹⁶ <https://www.reiso.org/articles/themes/soins/2791-douleurs-fantom-es-et-neuro-psycomotricite>

¹¹⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Mirror_therapy

¹¹⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=Ni7zHeBWrJE>

5.3.1.2 Patients brûlés

Pour les patients brûlés, la douleur est difficilement contrôlable car les composantes et les caractéristiques de celle-ci peuvent être multiples. Afin de réduire au mieux ces douleurs, c'est généralement la morphine ou d'autres antalgiques¹¹⁹ qui sont utilisés suivant les besoins. L'hypnose¹²⁰ peut également être proposée au patient après avoir passé la phase de douleur aiguë. Les soins nécessaires à la guérison de ces patients sont réalisés généralement quotidiennement et sont très douloureux.

L'utilisation de la réalité virtuelle peut être une méthode qui permet de distraire le patient durant ces soins et font l'objet de différentes études durant les deux dernières décennies¹²¹. Elle semble pouvoir être utilisée pour des personnes de tranches d'âges différentes et même adaptée pour les enfants.

5.3.1.2.1 *SnowWorld VR*

SnowWorld VR¹²² a été développé par deux chercheurs de l'université de Washington, un professeur de psychologie David Patterson et un ingénieur, Hunter Hoffman. Il a été un des premiers mondes virtuels destiné à soulager des douleurs, et plus particulièrement celles des patients brûlés. Dans ce jeu vidéo, le patient se retrouve immergé dans un monde de glace et de neige où il lui est possible de lancer des boules de neige sur divers éléments du décor comme des pingouins à l'aide d'une souris. Selon David Patterson, lorsque le patient se retrouve face à une situation douloureuse et qu'il est immergé dans un monde virtuel, il y a moins d'attention focalisée sur la douleur. Le monde de neige a été choisi car il est le total contraire du feu. Certains patients disent qu'ils ressentaient de grandes douleurs lors des soins de plaies, comme s'ils revivaient leur mauvaise expérience. Le fait de regarder ses brûlures se faire traiter peut provoquer une certaine anxiété et une douleur accrue. La réalité virtuelle « bloque » la vue et permet de mettre toute la concentration sur le jeu afin d'avoir un minimum d'attention traitant les signaux de douleur. Aujourd'hui *SnowWorld* est utilisé dans différents centres s'occupant de patients brûlés ainsi que des laboratoires de recherches.

Une étude réalisée par Hunter Hoffman et David Patterson et Thomas Furness au cours de l'année 2000, a démontré qu'une expérience en réalité virtuelle comme SnowWorld VR pouvait avoir bien plus d'impact et réduire grandement les différentes douleurs et

¹¹⁹ http://www.leonberard.com/arkotheque/client/leonberard/_depot_arko/articles/136/plus-d-informations_doc.pdf

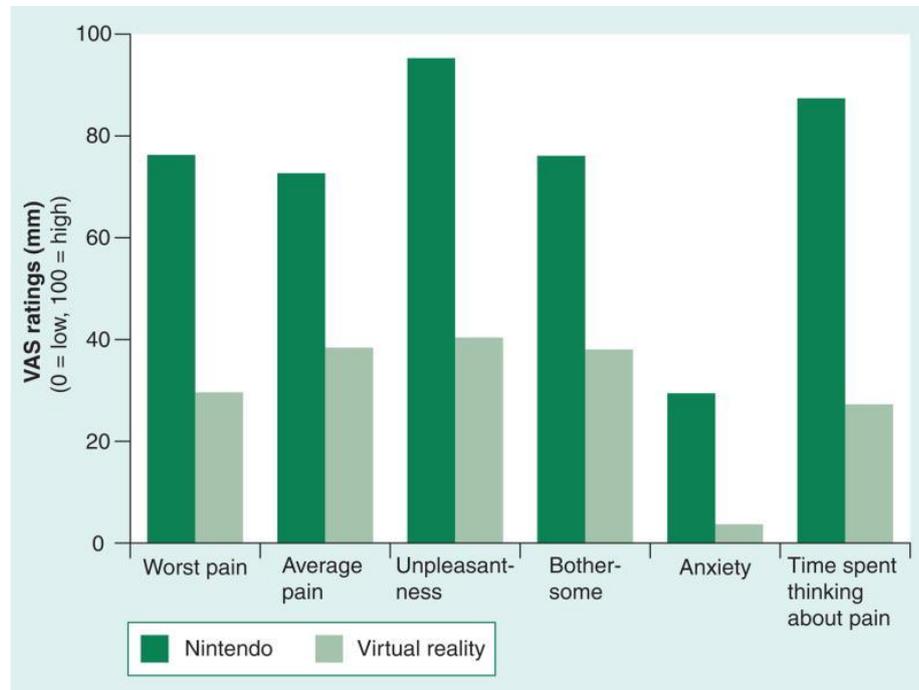
¹²⁰ <https://www.chuv.ch/fr/brulures/brul-home/patients-et-familles/soigner-un-adulte/les-soins-dune-brulure-grave-3e-degre/le-traitement-de-la-douleur/>

¹²¹ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2634811/>

¹²² <http://www.hitl.washington.edu/projects/vrpain/>

l'anxiété provoquée durant les soins qu'un jeu vidéo standard face à un écran durant les soins.

Figure 16 : Graphique – SnowWorld et la gestion des douleurs



(Rdworldonline, Laura Panjwani, 2017)

6. La réalité virtuelle dans les maisons de retraite

Un grand nombre de personnes âgées qui se retrouvent dans des maisons de retraites sont confrontés à l'isolement car elles peuvent se sentir abandonnées ou mises à l'écart de la société. Cet isolement peut mener à une dépression qui elle-même peut mener à une hospitalisation. Des sociétés¹²³ de réalité virtuelle comme Rendeever se sont penchées sur ce problème et réalisent des jeux permettant aux personnes âgées de s'occuper et vivre de nouvelles expériences comme le fait de voyager dans différents endroits du monde de façon virtuelle afin de sortir hors des murs de la maison de retraite.

« You see them start to relax, start to smile. They're looking at the dolphins and after it's finished, the agitation is reduced. » (Watch: Virtual Reality helps elderly experience life beyond care home walls, ELDER Elisabeth)

Les effets bénéfiques que peut avoir la réalité virtuelle pour ces personnes sont multiples. Elle permet de stimuler leur cerveau en revivant des souvenirs. La stimulation cérébrale chez ces personnes est très importante car elle a tendance à baisser avec le temps¹²⁴. Elle permet de sociabiliser¹²⁵ avec d'autres résidents lors d'expériences en réalité virtuelle en groupe qui crée un sentiment d'appartenance, capitale pour éviter tout isolement. Des études ont également montré que la RV pouvait maintenir une bonne humeur et un bon niveau de relaxation. Après leur expérimentation avec le visiocasque, tous les participants ont apprécié le moment passé dans le monde virtuel. Quasiment tous ont déclaré qu'ils se sentaient plus heureux, détendus et moins anxieux sur le moment.

Nous avons vu qu'il existe des jeux qui se focalisent sur le bien mental, mais il y a aussi des jeux vidéo en réalité virtuelle qui permettent de faire des exercices physiques. En effet, la réalité virtuelle peut être très interactive et peut favoriser le mouvement. Puisque l'on peut emmener une personne partout dans le monde, il est possible de la faire se promener sur la plage ou différents paysages tout en la faisant se déplacer sur un tapis roulant. Ainsi, l'exercice est moins rébarbatif et répétitif ce qui peut augmenter sa motivation. A l'aide de manettes et de capteurs, elle peut aussi jouer à des jeux qui demandent une certaine concentration afin d'avoir des séances de physiothérapies plus entraînantes.

¹²³ <https://www.forbes.com/sites/solrogers/2019/08/21/five-companies-using-virtual-reality-to-improve-the-lives-of-senior-citizens/#1e3a37a54279>

¹²⁴ <https://www.pnrfunding.com/virtual-reality-for-the-elderly>

¹²⁵ <https://yokeypokey.com/seniors>

7. Utilisation par les professionnels de la santé

7.1 Formations

Nous avons pu voir que la réalité virtuelle pouvait être utilisée pour des patients à des fins thérapeutiques, mais est-elle également bénéfique pour les professionnels de la santé ? La réponse est oui, grâce à diverses simulations développées dans le but d'exercer certains mouvements chirurgicaux par exemple. Ces simulations s'utilisent à l'aide d'appareils compatibles qui permettent d'utiliser des outils (semblables au niveau de la prise en main) qu'un chirurgien trouverait dans un bloc opératoire.

Il existe à l'heure actuelle diverses formations en réalité virtuelle dans le domaine de la santé allant de la navigation de l'anatomie à la laparoscopie. Des études prouveraient que ces méthodes sont meilleures que les méthodes de formations standards. Le Harvard Business Review montre notamment que les chirurgiens ayant été formés à l'aide de la RV avaient une nette amélioration concernant leurs performances de vitesse et d'exécution par rapport aux autres.

Nous traiterons dans ce document uniquement certaines de ces formations en réalité virtuelle.

7.1.1 Endoscopie

L'endoscopie¹²⁶ est une façon non-chirurgicale d'observer l'intérieur d'une cavité impossible à voir à l'œil. Aujourd'hui, cette méthode d'exploration s'utilise à l'aide d'un endoscope¹²⁷ équipé d'une mini caméra et d'un système d'éclairage.

7.1.1.1 GI-Bronch Mentor Virtual Reality Simulator

Cette simulation, développée en 2014 permet de réaliser des endoscopies gastroscopie ainsi que des bronchoscopies¹²⁸ flexibles permettant d'observer les voies respiratoires en profondeur. Cette simulation s'utilise à l'aide d'un visiocasque, et d'outils physiques qui interagissent avec le monde virtuel. A la disposition de l'utilisateur, une seringue, des pinces de biopsie, une brosse de cytologie, une seringue d'aspiration, un ballonnet et bien plus. L'utilisateur, en mettant le casque, est plongé dans un environnement réaliste d'un bloc opératoire avec un patient virtuel. Il peut choisir de réaliser l'entraînement en équipe ou tout seul.

¹²⁶ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Endoscopie>

¹²⁷ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Endoscope>

¹²⁸ <https://www.passeportsante.net/fr/Maux/examens-medicaux-operations/Fiche.aspx?doc=bronchoscopie>

J'ai eu la chance d'observer des bronchoscopies lors de mon engagement militaire aux hôpitaux universitaires de Genève. En comparant des vidéos de cette simulation au réel, elle me semble vraiment réaliste et permet d'immerger l'utilisateur afin de lui apprendre les mouvements de base tout en étant dans un environnement sûr et réalisé pour l'apprentissage.

Figure 17 : Simulateur de formation



(medicalexp)

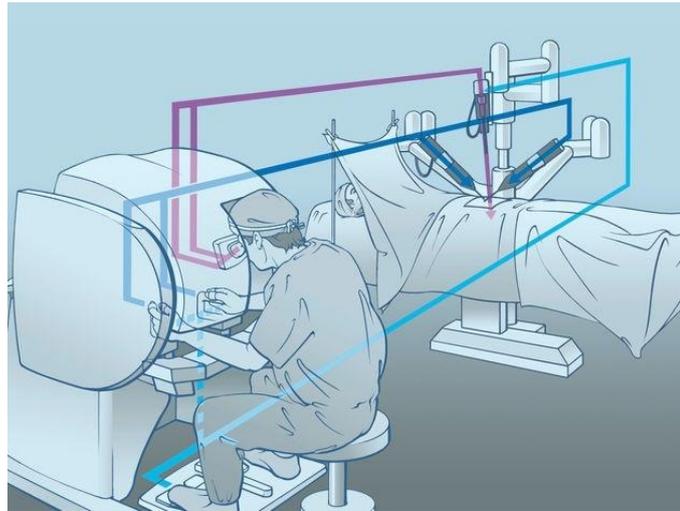
7.1.2 Interventions chirurgicales

7.1.2.1 Système de chirurgie robotisé da Vinci

Cet appareil permet à des chirurgiens d'utiliser des instruments chirurgicaux accessibles par le système robotisé. Le robot se situe à proximité du patient et possède quatre bras qui reproduisent les mouvements du chirurgien tout en éliminant les mouvements parasites afin d'avoir une haute précision. Depuis 2006¹²⁹, les HUG disposent du système de chirurgie robotisé da Vinci.

¹²⁹ <https://www.hug.ch/chirurgie-viscerale/chirurgie-robotique>

Figure 18 : da Vinci



(Une innovation devenue la norme : le robot Da Vinci en urologie, Martin Baumgartner, 2017)

7.1.2.1.1 *Surgical's da Vinci Surgical Skills Simulator*

Cette simulation¹³⁰ du système de chirurgie permet de pratiquer différentes actions chirurgicales sur des patients virtuels. Elle offre la possibilité à l'utilisateur de s'entraîner en fonction des capacités à développer et d'obtenir des commentaires tout au long de l'opération afin d'avoir une vue d'ensemble sur ses compétences. Le système donne la possibilité d'ajouter différents modules pratiques en fonction des besoins.

Les avantages d'une telle simulation sont nombreux. Elle offre la possibilité d'apprendre ou de se perfectionner autant de fois que possible à contrôler les instruments et les mouvements à réaliser dans les étapes critiques dans un environnement réaliste et contrôlé. De plus elle permet à un chirurgien de s'entraîner sur la simulation juste avant une réelle opération.

7.1.2.2 **Laparoscopie**

La laparoscopie est une intervention chirurgicale consistant à examiner les organes se trouvant au niveau de l'abdomen. Cette chirurgie nécessite l'acquisition de certaines compétences comme avoir une bonne coordination entre les mains et les yeux ainsi qu'une bonne précision permettant de déplacer les instruments chirurgicaux efficacement et surtout en toute sécurité.

¹³⁰ https://www.davincisurgerycommunity.com/Systems_I_A/Skills_Simulator

7.1.2.3 Gamme LAP-X

LAP-X VR¹³¹ est une simulation permettant de réaliser des laparoscopies. Il offre différents degrés de difficultés permettant d'atteindre un niveau de compétence. Ce simulateur est portable et s'utilise à l'aide de joysticks *simballs* qui imitent parfaitement les outils utilisés durant ce genre d'opérations.

7.1.3 Apprendre l'empathie

L'empathie¹³² est une qualité essentielle chez un médecin. Elle lui permet de communiquer de manière efficiente auprès des patients surtout lors d'annonces difficiles pouvant bouleverser une vie.

Une simulation nommée *MPathic-VR* permet de parler avec un patient virtuel afin de lui annoncer qu'il est atteint de leucémie par exemple. L'étudiant est alors capable de voir les émotions et les réactions en temps réel. Le système prend également en charge le langage non-verbal et les expressions faciales afin de répondre. Les réactions sont tirées d'un large éventail de comportements réels pouvant se produire lors de ce genre d'annonces. Ainsi les étudiants en médecine peuvent pratiquer des conversations délicates et se préparer à faire face à de telles situations avant de se retrouver sur le terrain.

« We found that virtual human simulation was an engaging and effective tool to teach medical students advanced communication skills and, very importantly, that skills in the simulation transferred into a more realistic clinical situation. » (Virtual humans help aspiring doctors learn empathy, Frederick Kron)

Des chercheurs de Medical Cyberworlds ainsi que de l'université de Michigan ont mené une étude¹³³ sur 421 étudiants en faculté de médecine. La moitié des étudiants ont utilisé la RV tandis que l'autre moitié, des méthodes standards informatisées comme des modules contenant des QCM. Les étudiants ont pu participer à deux scénarios. Le premier étant une annonce délicate à faire à un patient concernant une maladie et le deuxième, une altercation avec un collègue. Les personnes du groupe RV ont obtenu de meilleurs résultats d'apprentissage. Ils ont également réussi à améliorer leurs compétences en communication pour les deux scénarios lors du deuxième passage.

¹³¹ https://www.medical-x.com/products/lap_x/

¹³² <https://fr.wikipedia.org/wiki/Empathie>

¹³³ sciencedaily.com/releases/2017/04/170427091749.htm

Figure 19 : MPathic - Scène



(empr, Steve Duffy, 2017)

7.2 Chirurgies

Récemment, un projet lancé par l'entreprise Vicarious Surgical consiste à allier la chirurgie robotique et la réalité virtuelle. A l'aide d'un robot miniature le chirurgien sera comme directement transporté à l'intérieur d'un patient en alliant les deux technologies. Cela lui permettra de réaliser des chirurgies dites mini-invasives. Il pourra alors effectuer une opération comme s'il était dans le corps du patient. Cette idée est encore récente et nécessitera encore sans doute quelques années avant de voir le jour mais nul doute que le premier robot chirurgical qui effectuera une opération à l'aide de la réalité virtuelle sera une grande révolution technologique.

8. Travail pratique – RythmoSpace

8.1 Phase de conception

8.1.1 Mon choix

J'ai décidé de créer un jeu vidéo se focalisant sur les membres supérieurs car ce sont les parties du corps qui me semblaient être le plus aisément manipulables à l'aide des contrôleurs de l'Oculus Rift. De plus, n'ayant pas une grande expérience dans le développement des jeux vidéo, il me fallait trouver un concept simple ne nécessitant pas un grand nombre de modèles en trois dimensions. J'avais déjà pu avoir un avant-goût de cet univers lors de mon cursus scolaire au *centre de formation professionnelle technique informatique* qui m'avait beaucoup plu. Lors du cours à option *initiation Jeux Vidéo / Temps réel* proposé par la haute école de gestion en informatique, j'ai pu découvrir de nouveaux éléments qui m'ont été utiles pour la création de mon projet.

8.1.2 Contexte initial

Après avoir effectué la première partie de ce travail consistant aux différentes recherches concernant l'utilisation de la réalité virtuelle dans le domaine de la santé, j'ai opté pour la création d'un jeu vidéo destiné à la réhabilitation des bras. N'ayant jamais réalisé de jeu vidéo en réalité virtuelle auparavant, j'ai dû tout de même, en parallèle des recherches, commencer à m'informer quant à l'utilisation de cette technologie sur le logiciel *Unity*. Je suis très vite tombé sur un *package* permettant l'utilisation de l'appareil Oculus nommé *Oculus Integration Package Components*¹³⁴. Il m'a permis de gagner énormément de temps.

Avant de commencer le développement du jeu, je me suis rendu à l'hôpital de la Tour où j'ai pu rencontrer un physiothérapeute qui m'a accordé de son temps afin de répondre à mes diverses questions. Cela m'a permis de partir sur de bonnes bases et d'être sûr que mon projet puisse être utilisable.

J'ai également utilisé un modèle de document de game design¹³⁵ (GDD) que nous avons pu voir durant le cours à option *initiation Jeux Vidéo / Temps réel*. Il est utilisé afin de garder une trace de différents éléments concernant la conception du jeu vidéo tel que les mécaniques du jeu, les contrôles du personnage et le positionnement la caméra. Il m'a permis d'avoir une idée globale de la façon dont j'allais concevoir mon jeu et m'a servi de référence lorsque j'avais un doute sur une composante de celui-ci. Ensuite, j'ai pu démarrer la recherche des différents éléments et musiques à intégrer à mon jeu.

¹³⁴ <https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-utilities-overview/>

¹³⁵ <https://splashlogics.com/rediger-un-game-design-document-efficace/>

Après avoir réalisé ces différentes étapes et que la base de mon jeu vidéo était satisfaisante, j'ai, dès lors, pu commencer le développement.

8.1.3 Spécificités de RythmoSpace

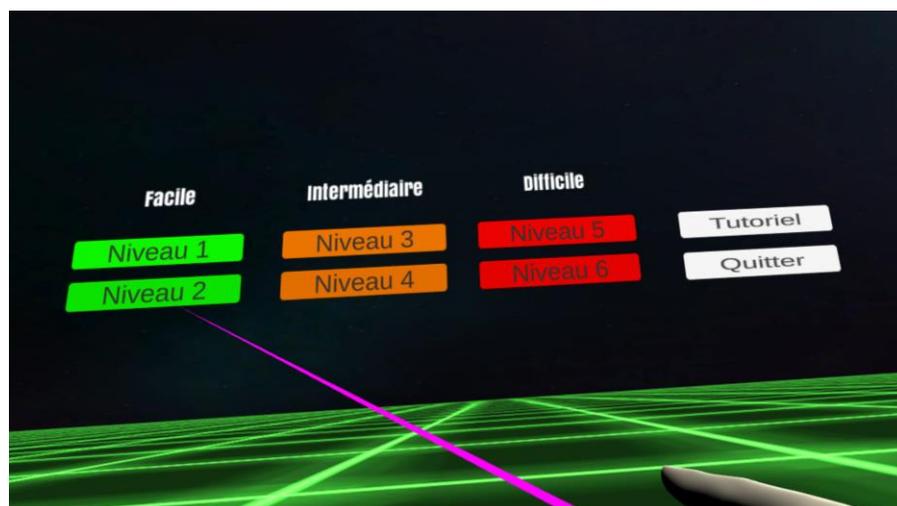
Le but de ce jeu est de toucher un maximum de cibles qui se dirigent vers le joueur. En touchant ces cibles, le joueur obtient des points. Lorsque le joueur touche cinq cibles d'affilées, un multiplicateur de points s'incrémente afin de le récompenser lorsqu'il ne commet aucune faute. En revanche, si le joueur commet un trop grand nombre d'erreur à la suite, le jeu se termine. Il existe six niveaux disponibles (deux faciles, deux intermédiaires et deux difficiles). Dans les niveaux faciles et moyens, les cibles se touchent à l'aide des mains qui ne nécessitent pas de faire de mouvement brusques. Dans les niveaux « difficiles », le joueur doit toucher un côté spécifique des cibles à l'aide de bâtons. En comparaison à d'autres jeux de rythmes tel que *Beat Saber*¹³⁶, mon jeu se focalise sur l'amplitude progressive afin de ne pas avoir à exécuter des mouvements trop rudes pour les membres de personnes s'étant blessées au bras.

8.1.4 Les différentes scènes

8.1.4.1 Menu

Le menu est la première scène sur laquelle le joueur se retrouve lorsqu'il lance le jeu. C'est depuis ce menu qu'il peut sélectionner les différents niveaux, le tutoriel ou choisir de quitter le jeu.

Figure 20 : Scène - Menu



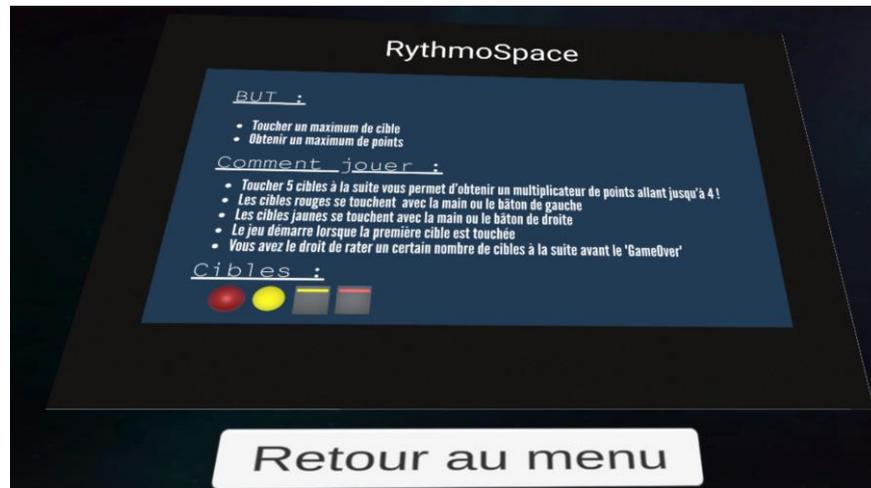
(RythmoSpace, 2020)

¹³⁶ https://fr.wikipedia.org/wiki/Beat_Saber

8.1.4.2 Tutoriel

Comme son nom l'indique, c'est une scène qui mène à un tutoriel permettant au joueur de comprendre comment fonctionne le jeu. Un bouton « Retour au menu » permet de revenir à la scène précédente pour sélectionner un niveau.

Figure 21 : Scène - Tutoriel



(RythmoSpace, 2020)

8.1.4.3 Niveaux faciles

Ce sont les niveaux qui permettent au joueur de prendre le jeu en main. Les cibles qui se dirigent vers le joueur se touchent à l'aide des mains se contrôlant à l'aide des manettes. Les cibles jaunes se touchent avec la main droite et les rouges avec la main gauche. Les cibles sont générées aléatoirement à une basse amplitude afin que le joueur n'ait pas à faire des mouvements trop difficiles. Un multiplicateur de point est intégré afin d'encourager le joueur à faire un minimum de faute possible. Ce multiplicateur peut être de quatre au maximum et s'incrémente lorsque cinq cibles sont touchées à la suite sans faire de faute. Le multiplicateur revient à un lorsque le joueur manque une cible. Sur le haut de la scène se trouve des informations tel que le nombre de secondes restantes à jouer, le multiplicateur, le score du joueur ainsi que le nombre de fautes commises d'affilée. Il est également possible de mettre le jeu en pause, de reprendre la partie à tout moment et de retourner au menu à l'aide des différentes touches se trouvant sur les manettes.

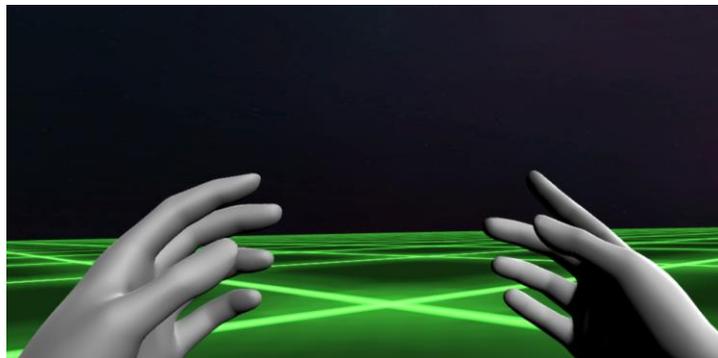
La différence entre le premier et le deuxième niveau est que les cibles sont plus rapides et plus petites dans le deuxième niveau.

Figure 22 : Scène - Niveaux facile



(RythmoSpace, 2020)

Figure 23 Scène - Mains



(RythmoSpace, 2020)

8.1.4.4 Niveaux intermédiaires

Ces niveaux sont semblables aux premiers. Ce sont également des sphères que le joueur doit toucher à l'aide de ses mains. La différence est qu'il y a un plus grand nombre de points de générations qui demandent au joueur de déplacer ses bras à de plus grandes amplitudes que les niveaux faciles.

Figure 24 : Scène - Niveaux intermédiaires



(RythmoSpace, 2020)

8.1.4.5 Niveaux difficiles

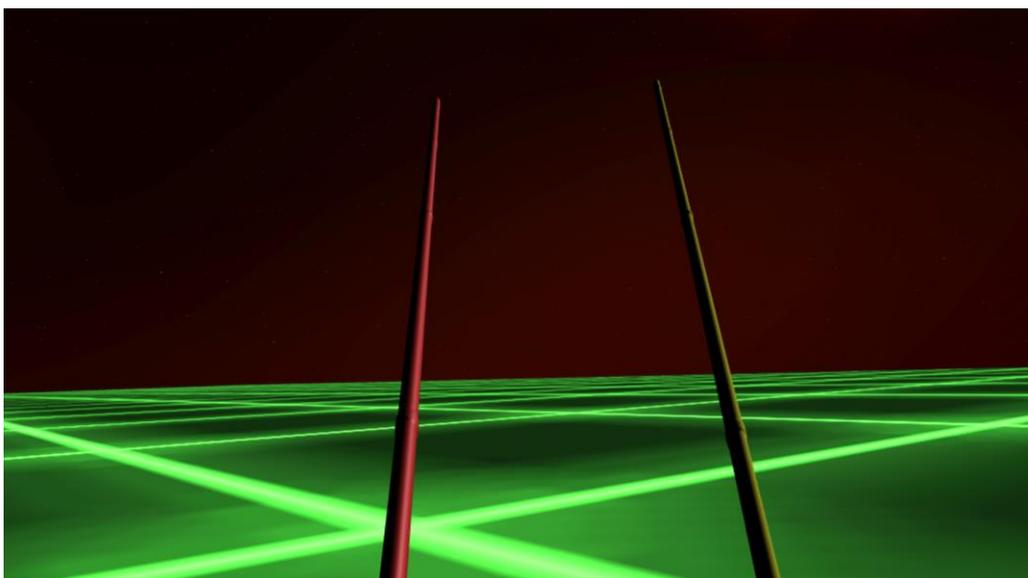
Il s'agit des derniers niveaux du jeu. Contrairement aux niveaux précédents, le joueur ne doit pas toucher les cibles avec ses mains mais avec des bâtons qui lui sont mis à disposition. Les cibles sont également différentes. Ce sont des sphères avec un trait de couleur (jaune ou rouge) se trouvant sur la gauche, la droite, le haut ou le bas des cibles. Le joueur doit toucher le trait avec le bâton de la bonne couleur afin de marquer des points.

Figure 25 : Scène - Niveaux difficiles



(RythmoSpace, 2020)

Figure 26 : Scène - Bâtons



(RythmoSpace, 2020)

8.1.4.6 Affichage des scores

A la fin de chaque niveau, le joueur a la possibilité de voir le score de chaque joueur ayant participé au niveau. Il peut également, s'il le souhaite, inscrire son propre score. Pour cela, il doit écrire son nom à l'aide d'un clavier se trouvant sur la scène.

Figure 27 : Scène - Affichage scores



(RythmoSpace, 2020)

Figure 28 : Scène - Affichage scores 2



(RythmoSpace, 2020)

8.2 Phase de développement

8.2.1 Logiciels et langages utilisés

Pour la réalisation de ce jeu vidéo, j'ai utilisé la version 2019.3.2f1 d'*Unity* afin de créer les différentes scènes et utiliser les différents packages disponibles pour l'implémentation de la réalité virtuelle. Pour les scripts, j'ai opté pour du *C#* sur Microsoft Visual Studio 2017 que nous avons utilisé durant le cours à option.

8.2.2 Packages et images utilisées

Différents assets gratuits ont été téléchargés. Certains ont un but esthétique comme les *Skybox*¹³⁷ ainsi que les bâtons servant à toucher les cibles. D'autres sont utilitaires comme *osvr gui framework* qui m'a permis d'intégrer un clavier virtuel dans le jeu afin d'entrer son nom lorsque le joueur veut enregistrer son score. Ci-dessous se trouvent tous les liens de téléchargement de ces packages.

- <https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/dynamic-space-background-lite-104606>
- <https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/weapons/arnis-sticks-85423>
- <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/oculus-integration-82022>
- <https://assetstore.unity.com/packages/tools/gui/osvr-gui-framework-145482>
- <https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/fighting-game-level-basic-training-stage-159610>
- <https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/sky/spaceskies-free-80503>
- <https://pixabay.com/fr/images/search/arrow/>

8.2.3 Musiques utilisées

Les musiques utilisées sont libres de droit et n'ont aucun copyright.

- Niveaux faciles : Vexaic - I will find you
- Niveaux intermédiaires : Prismo - Stronger (Raiko remix)
- Niveaux difficiles : Cartoon - Why we lose

¹³⁷ [https://fr.wikipedia.org/wiki/Skybox_\(jeu_vid%C3%A9o\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Skybox_(jeu_vid%C3%A9o))

8.2.4 Contrôles de mains

Afin de gérer la collision entre les cibles et les mains du joueur, j'ai utilisé la fonction *OntriggerEnter*¹³⁸ qui permet de réaliser diverses actions lorsque des éléments entrent en collision. Pour cela, il m'a fallu ajouter des composants nécessaires au fonctionnement de cette fonction tel qu'un *Collider*¹³⁹ ainsi qu'un *Rigidbody*¹⁴⁰.

Figure 29 : Script - Contrôles mains

```
public void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if (other.tag.Equals(targetTag))
    {
        scoreSystem.touchTarget();
        if (SceneManager.GetActiveScene().name.Contains("Hard"))
        {
            Destroy(other.transform.parent.gameObject);
        }
        else {
            Destroy(other.gameObject);
        }
        PlayMusic();
        timeSystem.SetStartGame(true);
    }
}
```

(RythmoSpace, 2020)

8.2.5 Générateur de cibles

Les cibles sont générées de manière aléatoire à un moment précis depuis un cube. Ayant voulu réaliser un jeu de rythme, il fallait que les cibles atteignent le joueur en fonction de la musique. Il m'a donc fallu chercher les battements par minutes pour chaque musique. De plus, le nombre d'emplacements où sont générées les cibles augmente entre les niveaux faciles et moyens, le fait de pouvoir ajouter des variables publiques modifiables depuis un *prefab*¹⁴¹ m'a permis de ne pas créer un script pour chaque générateur.

¹³⁸ <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Collider.OnTriggerEnter.html>

¹³⁹ <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Collider.html>

¹⁴⁰ <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Rigidbody.html>

¹⁴¹ <https://drakulogamedev.wordpress.com/2016/02/14/le-prefab-votre-futur-meilleur-ami/>

Figure 30 : Script - Générateur cibles

```
if (timeSystem.GetSpawnTargets())
{
    if (timerBeat > beat)
    {
        int randomTarget = Random.Range(0, nbPrefab);
        int randomSpawnPositionLeft = Random.Range(minRangeLeft, maxRangeLeft);
        int randomSpawnPositionRight = Random.Range(minRangeRight, maxRangeRight);

        GameObject theTarget = targets[randomTarget];
        Transform theSpawnPosition;

        if (randomTarget == 0)
        {
            theSpawnPosition = spawnPositions[randomSpawnPositionLeft];
        }
        else
        {
            theSpawnPosition = spawnPositions[randomSpawnPositionRight];
        }

        Instantiate(theTarget, theSpawnPosition.position, transform.rotation);
        timerBeat -= beat;
    }
}

timerBeat += Time.deltaTime;
```

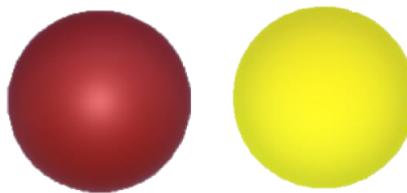
(RythmoSpace, 2020)

8.2.5.1 Cibles

8.2.5.1.1 Niveaux faciles et intermédiaires

Ce sont deux cibles sphériques qui se déplacent face au joueur.

Figure 31 : Cibles – Facile&Intermédiaire



(RythmoSpace, 2020)

Figure 32 : Script - Cibles

```
void FixedUpdate()
{
    transform.position = new Vector3(transform.position.x, transform.position.y, transform.position.z - speed);
}

public void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if (other.tag.Equals("TargetDestroyer"))
    {
        Destroy(gameObject);
    }
}
```

(RythmoSpace, 2020)

8.2.5.1.2 Niveaux difficiles

Les cibles des niveaux difficiles se déplacent à la même vitesse que les cibles des premiers niveaux. Elles sont composées d'un trait jaune ou rouge qui apparaît de manière aléatoire horizontalement ou verticalement. Dans le jeu, une flèche bleue est également affichée afin de guider le joueur.

Figure 33 : Cibles - Difficile



(RythmoSpace, 2020)

Figure 34 : Script - Cibles difficiles

```
rectHorizontal = rects[0];
rectVertical = rects[1];

int randomRects = Random.Range(0, nbRect);
int randomSpawnPositionHorizontal = Random.Range(0, 2);
int randomSpawnPositionVertical = Random.Range(2, 4);

if (randomRects == 0)
{
    rectHorizontal.transform.position = new Vector3(rectHorizontal.transform.position.x, spawnPositions[randomSpawnPositionHorizontal].position.y, rectHorizontal.transform.position.z);
    rectHorizontal.SetActive(true);
    arrows[randomSpawnPositionHorizontal].SetActive(true);
}
else
{
    rectVertical.transform.position = new Vector3(spawnPositions[randomSpawnPositionVertical].position.x, rectVertical.transform.position.y, rectVertical.transform.position.z);
    rectVertical.SetActive(true);
    arrows[randomSpawnPositionVertical].SetActive(true);
}
```

(RythmoSpace, 2020)

8.2.6 Destructeur de cibles

Un *gameObject*, qui représente un élément du jeu vidéo sous la forme d'un rectangle invisible se trouve derrière le joueur. Son rôle est de détruire les cibles que le joueur n'a pas pu toucher afin de déclencher certains événements tel que l'incrément d'une cible ratée et également d'éviter de garder trop de cibles actives dans la scène.

Figure 35 : Script - Destructeur de cibles

```
public void OnTriggerExit(Collider other)
{
    if (other.tag.Equals("TargetLeft") || other.tag.Equals("TargetRight"))
    {
        Destroy(other.gameObject);
        if (timeSystem.GetStartGame())
        {
            audioData.Play();
            failsSystem.MissTarget();
            multiplicatorSystem.MissTarget();
        }
    }
}
```

(RythmoSpace, 2020)

8.2.7 Manager de fichiers texte

8.2.7.1 Lecture

Dès que la scène est chargée, un fichier texte est chargé afin d'afficher les scores des précédents joueurs. Pour définir le chemin du fichier, j'ai utilisé la fonction *Directory.GetCurrentDirectory()* qui nous place à la racine du fichier lorsque le jeu est buildé.

Figure 36 : Script - Lecture

```
path = Directory.GetCurrentDirectory() + "/RythmoSpace_Data/Resources/Scores/" + SceneManager.GetActiveScene().name + ".txt";
canvas = GetComponent<Canvas>();

txtScores = canvas.GetComponentsInChildren<Text>()[0];
txtName = canvas.GetComponentsInChildren<Text>()[1];
txtScorePlayer = canvas.GetComponentsInChildren<Text>()[2];
txtScorePlayer.text = PlayerPrefs.GetInt("PlayerScore").ToString();

StreamReader textFile = new StreamReader(path);
text = textFile.ReadToEnd(); //Conversion String
lines = text.Split('\n');

for(int i = 0; i < lines.Length; i++)
{
    txtScores.text += lines[i] + "\n";
}
```

8.2.7.2 Écriture

Figure 37 : Script - Écriture

```
path = Directory.GetCurrentDirectory() + "/RythmoSpace_Data/Resources/Scores/" + SceneManager.GetActiveScene().name + ".txt";

if(txtName.text != "")
{
    Destroy(keyboard);

    string dataScores = txtScores.text;
    string dataNameScore = txtName.text + " - " + txtScorePlayer.text;
    StreamWriter writer = new StreamWriter(path, true);
    writer.WriteLine(dataNameScore);
    writer.Close();

    txtScores = canvas.GetComponentsInChildren<Text>()[0];
    txtScores.text += dataNameScore;
    PlayerPrefs.SetInt("PlayerScore", 0);
}
```

8.3 Améliorations possibles

Il y a un grand nombre d'amélioration qui sont possible pour mon jeu. A la fin de la conception de celui-ci, j'ai pu le faire tester à différentes personnes de mon entourage qui m'ont permis de collecter certaines idées pouvant être implémentées dans une future version. Les remarques qui revenaient le plus souvent étaient au niveau des graphismes et de l'interaction avec les cibles. En effet, les cibles sont de simples sphères. J'aurais pu ajouter d'autres types plus « esthétiques » et y ajouter des particules ainsi qu'un effet sonore lorsque celles-ci sont détruites par le joueur.

Le système de bâton dans le mode difficile a grandement été apprécié par la plupart des personnes. Il m'a été proposé de l'ajouter dans les niveaux précédents. On m'a également conseillé d'ajouter un plus grand nombre de niveaux et de difficultés plus

variées comme le fait avoir un nombre de faute maximum fixe à la place du nombre de faute d'affilées pour les derniers niveaux. Pour ma part, je pense qu'une fonctionnalité importante aurait pu être la possibilité d'ajouter sa propre musique qui pourrait être l'objet d'une future amélioration de mon jeu. La possibilité de jouer à l'aide d'un seul bras si l'un des deux est inutilisables aurait aussi pu être une fonctionnalité supplémentaire à implémenter.

9. Conclusion

Nous avons pu voir dans ce document que la réalité virtuelle est bel et bien utilisée depuis un certain temps le domaine médical. Que ce soit pour de la rééducation physique et mentale ou le traitement de troubles anxieux, elle continue à se développer dans ce domaine. Aujourd'hui encore de nombreuses recherches sont effectuées à ce sujet afin de trouver d'autres utilisations à cette technologie. Les différentes recherches effectuées nous ont montré que la RV possède des avantages non-négligeables, notamment pour la thérapie par exposition à la réalité virtuelle lors de traitements contre certaines phobies comparé aux méthode *in vivo*. Les deux approches fournissent des résultats plus ou moins similaires concernant la réduction de symptômes, mais la réalité virtuelle n'a pas les différents inconvénients qu'à la méthode *in vivo* comme le fait de se rendre à un endroit difficile d'accès comme les avions pour les personnes acrophobes ou certains lieux publics qui sont des sources anxigènes pour les agoraphobes. Elle offre aussi la possibilité de garder une certaine motivation lors d'exercices dans un environnement sûr et progressif. Bien qu'efficace, la RV est surtout efficace lorsqu'elle est utilisée en complément à des méthodes plus classiques tel que les thérapies cognitivo-comportementale pour le traitement des phobies ou des séances de physiothérapie standards pour la réhabilitation physique.

De plus, les différents environnements virtuels ne cessent de s'améliorer, que ce soit en devenant plus réalistes ou plus fluides, ce qui augmentent l'immersion de l'utilisateur afin qu'il ait réellement l'impression de se trouver dans le jeu. Ces jeux deviennent également plus accessibles, pour les personnes n'ayant pas l'habitude d'utiliser cette technologie afin que n'importe quel individu puisse en bénéficier.

Concernant la formation du personnel soignant, la réalité virtuelle est un outil qui permettra aux étudiants et même aux professionnels de pratiquer et observer des opérations. C'est une technologie qui je pense a de l'avenir dans le domaine de l'apprentissage et qui permettra aux futurs professionnels de la santé d'avoir une meilleure idée de ce qui les attend dans le monde réel.

L'utilisation de la RV était peu rependue auparavant, notamment à cause des prix des appareils souvent onéreux. De nos jours, les prix des visiocasques sont bien plus abordables. On pourrait penser que dans un futur proche, certaines de ces thérapies que l'on a pu observer pourront être traitées à distance ou de manière autonome à domicile grâce à des coachs virtuels directement implantés dans les jeux de simulations.

Pour ce qui est de la création et développement de mon jeu vidéo, j'ai tenté d'utiliser la réalité virtuelle qui est une première pour moi, tout en utilisant les connaissances acquises en cours. J'ai cherché à retranscrire les différentes informations que les physiothérapeutes ont pu me donner lors de nos entretiens. Les différents retours que j'ai pu obtenir en faisant tester mon jeu m'ont permis de réaliser des réglages concernant la difficulté de certains niveaux.

Pour conclure mon travail, j'espère pouvoir continuer mon projet pratique afin de pouvoir intégrer toutes les remarques qui m'ont été faites le concernant. C'est un projet que j'ai eu du plaisir à réaliser tout au long du semi-confinement. J'aimerais également encore remercier les physiothérapeutes des HUG et de l'hôpital de La Tour qui m'ont donné de leur temps malgré la pandémie.

Bibliographie

NEPAL, Sailesh, 2018. Augmented Reality Vs Virtual Reality. *DataSagar Blog* [en ligne]. 8 février 2018. [Consulté le 02 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://datasagar.com/augmented-reality-vs-virtual-reality/Augmented%20reality%20enhances%20the%20real%20world>

FUTURA, la rédaction de, [sans date]. Réalité virtuelle et réalité augmentée : quelle différence ? *Futura* [en ligne]. [Consulté le 02 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.futura-sciences.com/tech/questions-reponses/multimedia-realite-virtuelle-realite-augmentee-difference-1962/>

The Now: Understanding Virtual Reality and Augmented Reality, [sans date]. *GCFGlobal.org* [en ligne]. [Consulté le 02 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://edu.gcfglobal.org/en/thenow/understanding-virtual-reality-and-augmented-reality/1/>

Réalité virtuelle : Oculus Rift versus HTC Vive, qui va l'emporter ?, [sans date]. *usine-digitale.fr* [en ligne]. [Consulté le 03 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.usine-digitale.fr/editorial/realite-virtuelle-oculus-rift-versus-htc-vive-qui-va-l-emporter.N387740>

KineQuantum la rééducation en réalité virtuelle pour la kinésithérapie, [sans date]. *kinequantum* [en ligne]. [Consulté le 03 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.kinequantum.com>

L, Bastien, 2017. L'histoire de la VR en 7 étapes : de la science-fiction à votre salon. *Réalité-Virtuelle.com* [en ligne]. 15 novembre 2017. [Consulté le 03 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.realite-virtuelle.com/histoire-vr-7-etapes-1511/>

CHEVALIER, Baptiste, 2018. Réalité virtuelle : des prémices à la démocratisation en 5 étapes clés ! *Adentis* [en ligne]. 4 septembre 2018. [Consulté le 05 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.adentis.fr/realite-virtuelle-des-premices-a-la-democratisation-en-5-etapes-cles/>

On a retrouvé les ancêtres de l'Oculus, [sans date]. *L'Obs* [en ligne]. [Consulté le 05 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.nouvelobs.com/rue89/rue89-culture/20160107.RUE1838/on-a-retrouve-les-ancetres-de-l-oculus.html>

LE SENSORAMA, « CABINE DE CINÉMA IMMERSIF » SORTIE : 1962, 2016. *CASQUES À SENSATION* [en ligne]. [Consulté le 06 mars 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://casquesrealitevirtuelle.wordpress.com/2016/11/11/le-sensorama-cabine-de-cinema-immersif-sortie-1962/>

Ivan Sutherland, 2020. *Wikipedia* [en ligne]. [Consulté le 04 avril 2020]. Disponible à l'adresse :

https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ivan_Sutherland&oldid=965286872

The Sword of Damocles (virtual reality), 2020. *Wikipedia* [en ligne]. [Consulté le 04 avril 2020]. Disponible à l'adresse :

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=The_Sword_of_Damocles_\(virtual_reality\)&oldid=965631039](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=The_Sword_of_Damocles_(virtual_reality)&oldid=965631039)

LIMITED, TheTin et JULIETTE03, [sans date]. Tech Focus: The Reality of Virtual Reality. [en ligne]. [Consulté le 04 avril 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://blog.thetin.net/post/2019/01/02/tech-focus-the-reality-of-virtual-reality>

GENERALS, The Digital, 2017. SEGA VR — RIP 1993. *Medium* [en ligne]. 3 octobre 2017. [Consulté le 05 avril 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://medium.com/@thedigitalgenerals/sega-vr-rip-1993-485290fc3041>

W Industries et la réalité virtuelle sur Amiga, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 05 avril 2020]. Disponible à l'adresse :

http://obligement.free.fr/articles/windustries_realitevirtuelle_amiga.php

The Story of Sega VR: Sega's Failed Virtual Reality Headset, 2019. *designnews.com* [en ligne]. [Consulté le 05 avril 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.designnews.com/electronics-test/story-sega-vr-segas-failed-virtual-reality-headset>

SEGA: De retour dans la course en Réalité Virtuelle VR ?, 2020. *VR4Player: Toute l'actualité VR console sur un seul site !* [en ligne]. [Consulté le 05 avril 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.vrplayer.fr/sega-vr-realite-virtuelle/>

Accidents vasculaires cérébraux, [sans date]. *CHUV* [en ligne]. [Consulté le 15 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.chuv.ch/fr/neurologie/nlg-home/patients-et-familles/maladies-traitees/accidents-vasculaires-cerebraux/>

CARRON, Cécilia, 2013. Récupérer d'un AVC grâce à la réalité virtuelle. [en ligne]. 13 décembre 2013. [Consulté le 15 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://actu.epfl.ch/news/recuperer-d-un-avc-grace-a-la-realite-virtuelle/>

L'héminégligence ou la négligence unilatérale, 2018. *Vivacité* [en ligne]. [Consulté le 15 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.rtf.be/vivacite/emissions/detail_la-vie-du-bon-cote/accueil/article_l-heminegligence-ou-la-neglignence-unilaterale?id=10073907&programId=2161

Figure 1: The Lokomat setup with a virtual reality game in front of the..., [sans date]. *ResearchGate* [en ligne]. [Consulté le 15 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/figure/The-Lokomat-setup-with-a-virtual-reality-game-in-front-of-the-patient_fig7_280628193

[WEB SITE] Virtual Reality is Finding a Home in Physical Therapy, 2019. *TBI Rehabilitation* [en ligne]. [Consulté le 15 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://tbirehabilitation.wordpress.com/2019/09/12/web-site-virtual-reality-is-finding-a-home-in-physical-therapy/>

Motek C-Mill Virtual Reality Treadmill - Summit Medical and Scientific UK, [sans date]. *Summit Medical and Scientific* [en ligne]. [Consulté le 16 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://summitmedsci.co.uk/products/motek-cmill/>

C-Mill Brochure_Original_10004.pdf, [sans date]. *Google Docs* [en ligne]. [Consulté le 16 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://drive.google.com/file/d/1zh7g3Rd69QszZgAhhqKWujlu7INb6b1H/view?usp=embed_facebook

Schweizerische Parkinsonvereinigung: Aspects de la maladie, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 16 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.parkinson.ch/index.php?id=181&L=2>

Thérapie par réalité virtuelle, [sans date]. *Les Toises* [en ligne]. [Consulté le 19 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.lestoises.ch/therapie-par-realite-virtuelle/>

Réalité virtuelle, [sans date]. *ADDICTOHUG* [en ligne]. [Consulté le 19 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://pro.addictohug.ch/dossiers/realite-virtuelle/>

T.E.R.V. , Thérapie du 21ème siècle ?, [sans date]. *Félix Santé* [en ligne]. [Consulté le 19 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.felixsante.com/publication/t-e-r-v-therapie-du-21eme-siecle>

Plus sur le TERV, [sans date]. *Cabinet Médical et de Psychothérapie* [en ligne]. [Consulté le 19 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.nordet-psy.ch/terv-fr>

TERV - Thérapie avec Réalité Virtuelle | Psychologue TCC | Saint Maur, [sans date]. *Barbara Para* [en ligne]. [Consulté le 19 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.barbarapara.fr/terv-saint-maur-des-fosses>

Alexandra Rivière – Psychologue Paris 9 » Thérapie par réalité virtuelle (TRV), [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 19 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.psychologue-riviere.com/therapie-par-realite-virtuelle-trv/>

Comment venir à bout d'une phobie ?, 2016. <https://www.passeportsante.net/> [en ligne]. [Consulté le 22 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.passeportsante.net/fr/Actualites/Dossiers/DossierComplexe.aspx?doc=phobie-comment-en-venir-a-bout-la-therapie-en-realite-virtuelle->

04-152_tcc.pdf, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 22 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.hug.ch/sites/interhug/files/structures/pharmacologie_et_toxicologie_cliniques/documents/04-152_tcc.pdf

Phobie, [sans date]. *Fondation Fondamental Suisse* [en ligne]. [Consulté le 22 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://fondamental-suisse.org/sante-mentale/mots-cles/phobie/>

Mag de la science, 2019. [en ligne]. [Consulté le 22 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=qTELCULtg7w&t=1246s>

Acrophobia (The Fear of Heights): Are You Acrophobic?, [sans date]. *Psycom.net - Mental Health Treatment Resource Since 1986* [en ligne]. [Consulté le 22 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.psycom.net/acrophobia-fear-of-heights/>

Une thérapie à base de réalité virtuelle pour lutter contre la peur du vide, [sans date]. *Sciences et Avenir* [en ligne]. [Consulté le 22 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.sciencesetavenir.fr/sante/cerveau-et-psy/une-therapie-a-base-de-realite-virtuelle-pour-lutter-contre-la-peur-du-vider_125926

Fear of heights? VR therapy may help, 2018. [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=rQ9dBj6iRY4>

Arachnophobie : définition, symptômes et traitement, [sans date]. *Santé sur le net* [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.sante-sur-le-net.com/neuro-psy/phobies/arachnophobie-definition-symptomes/>

Tout savoir sur l'arachnophobie et comment la combattre, 2017. *https://www.passeportsante.net/* [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.passeportsante.net/fr/Actualites/Dossiers/DossierComplexe.aspx?doc=peu-r-araignee-arachnophobie-conseils>

Fear of Spiders: Treatments and How to Cope, 2020. *Healthline* [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.healthline.com/health/mental-health/fear-of-spiders>

Arachnophobia Therapy Through Virtual Reality, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<http://www.umich.edu/~psychvr/spider/report.html>

Tous les types de phobies : quand la peur vous gâche la vie, [sans date]. *Doctissimo* [en ligne]. [Consulté le 23 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

https://www.doctissimo.fr/html/psychologie/mag_2000/mag1020/ps_2747_peur_ou_phobie.htm

Phobias, [sans date]. *Mental Health America* [en ligne]. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.mhanational.org/conditions/phobias>

HEDMAN, Erik, 2019. NCT03101332: *Virtual Reality for Panic Disorder With Agoraphobia: a Clinical Trial* [en ligne]. Clinical trial registration. *clinicaltrials.gov*. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT03101332>

Preliminary Virtual Reality Therapy Trial for Agoraphobia Shows Promise, 2018. *Psychiatry Advisor* [en ligne]. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.psychiatryadvisor.com/home/conference-highlights/apa-2018/preliminary-virtual-reality-therapy-trial-for-agoraphobia-shows-promise/>

La réalité virtuelle dans la lutte aux troubles alimentaires, [sans date]. *Scientifique en chef* [en ligne]. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.scientifique-en-chef.gouv.qc.ca/impacts/la-realite-virtuelle-dans-la-lutte-aux-troubles-alimentaires/>

Les troubles de l'alimentation (anorexie, boulimie, hyperphagie), 2012. <https://www.passeportsante.net/> [en ligne]. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=troubles_alimentation_douglas_pm

ind-5-8-fr-1.pdf, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.boulimie-anorexie.ch/wp-content/uploads/2019/06/ind-5-8-fr-1.pdf>

Anorexie mentale, boulimie, compulsions alimentaires et troubles du comportement alimentaire - Troubles du comportement alimentaire et thérapies : quelques infos pour vous éclairer - Association Autrement, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.anorexie-et-boulimie.fr/articles-455-traitement-des-troubles-alimentaires-quelle-therapie-choisir.htm>

A4_Nutri_2019.1.pdf, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.c2.care/doc/512/A4_Nutri_2019.1.pdf

REI, Elisabeth, 2019. Réalité virtuelle et troubles du comportement alimentaire - Medocine. *Blog de Medocine* [en ligne]. 12 septembre 2019. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.medocine.com/blog/les-pouvoirs-de-la-realite-virtuelle-en-3d-sur-les-troubles-du-comportement-alimentaire/>

CARFAGNO, Jack, 2018. Eating Disorders are Being Treated with Virtual Reality. *Docwire News* [en ligne]. 30 juillet 2018. [Consulté le 24 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.docwirenews.com/docwire-pick/future-of-medicine-picks/virtual-reality-treating-eating-disorders/>

Virtual Vietnam PTSD Exposure Therapy Prototype, 2014. [en ligne]. [Consulté le 29 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.youtube.com/watch?v=c7MmgA_JG4g

Virtual Vietnam PTSD documentary, 2010. [en ligne]. [Consulté le 29 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

https://www.youtube.com/watch?v=C_2ZkvAMih8

Virtual Vietnam Sound Design, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 29 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.cc.gatech.edu/gvu/people/jarrell.pair/vietaudio.html>

Virtual Vietnam: Virtual Reality Exposure Therapy for PTSD – David Gotz, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 29 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<http://gotz.web.unc.edu/research-project/virtual-vietnam-virtual-reality-exposure-therapy-for-ptsd/>

Virtual Reality Therapy: Post-Traumatic Stress Treatment for Veterans | StrongMind, [sans date]. *SoldierStrong* [en ligne]. [Consulté le 29 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.soldierstrong.org/strongmind/>

Virtual Reality May Make PTSD Treatment More Effective | Bush Center [en ligne]. [Consulté le 29 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<http://www.bushcenter.org/publications/articles/2019/6/ptsd-awareness-day-2019.html>

CONTRIBUTOR, VAntagePoint, 2020. Life After Service: StrongMind technology to treat Veterans with PTSD. *VAntage Point* [en ligne]. 6 mars 2020. [Consulté le 29 juin 2020].

Disponible à l'adresse : <https://www.blogs.va.gov/VAntage/72224/life-service-strongmind-technology-treat-veterans-ptsd/>

RIZZO, Albert 'Skip' et SHILLING, Russell, 2017. Clinical Virtual Reality tools to advance the prevention, assessment, and treatment of PTSD. *European Journal of Psychotraumatology* [en ligne]. 16 janvier 2017. Vol. 8, n° sup5. [Consulté le 30 juin 2020]. DOI [10.1080/20008198.2017.1414560](https://doi.org/10.1080/20008198.2017.1414560). Disponible à

l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5774399/>

Addiction: Definition, symptoms, withdrawal, and treatment, 2018. [en ligne]. [Consulté le 30 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.medicalnewstoday.com/articles/323465>

What Is Addiction?, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 30 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.psychiatry.org/patients-families/addiction/what-is-addiction>

Addiction : comprendre le phénomène de dépendance, [sans date]. *Marie Claire* [en ligne]. [Consulté le 30 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.marieclaire.fr/addiction-dependance-definition,1248105.asp>

ARPOST, [sans date]. Virtual Reality Therapy: Using VR To Treat Addiction. *ARPost* [en ligne]. [Consulté le 30 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://arpost.co/2019/02/14/virtual-reality-therapy-vr-treat-addiction/>

Virtual Reality and Drug Rehabilitation: The Future of Addiction Treatment | Niznik Behavioral Health, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 30 juin 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.niznikhealth.com/research-articles/virtual-reality-and-drug-rehabilitation-the-future-of-addiction-treatment>

SEPTEMBER 23, Karen Roby in Innovation on, 2019 et PST, 12:52 Pm, [sans date]. Virtual reality: A new tool in the fight against addiction. *TechRepublic* [en ligne]. [Consulté le 30 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.techrepublic.com/article/virtual-reality-a-new-tool-in-the-fight-against-addiction/>

NETGEN, [sans date]. Addiction aux jeux vidéo, que du virtuel ? *Revue Médicale Suisse* [en ligne]. [Consulté le 28 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.revmed.ch/RMS/2016/RMS-N-531/Addiction-aux-jeux-video-que-du-virtuel>

Les traitements, [sans date]. *CHUV* [en ligne]. [Consulté le 01 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.chuv.ch/fr/jeu-excessif/cje-home/patients-et-famille/jeux-video-et-internet/les-traitements/>

LOPEZ, German, 2018. Video game addiction is real, rare, and poorly understood. *Vox* [en ligne]. 6 décembre 2018. [Consulté le 01 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.vox.com/science-and-health/2018/12/6/18050680/video-game-addiction-gaming-disorder-who>

World of Warcraft, 2020. *Wikipédia* [en ligne]. [Consulté le 01 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=World_of_Warcraft&oldid=173074035

The Most Addictive Video Games Of 2020, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 01 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.casino.org/features/addictive-video-games/>

C2Care casque pour Thérapies par Exposition à la Réalité Virtuelle (TERV) - Apprendre la Psychologie, [sans date]. *Apprendre les TCC* [en ligne]. [Consulté le 01 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://tcc.apprendre-la-psychologie.fr/catalogue/materiels/-c2care-casque-pour-therapies-par-exposition-a-la-realite-virtuelle-terv.html>

Thérapie par Réalité Virtuelle | Clinique des Trois Cyprès, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 01 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://clinique-des-trois-cypres.ramsaygds.fr/vous-etes-patient-pourquoi-choisir-notre-etablissement/therapie-par-realite-virtuelle>

La charte d'éthique et de déontologie du groupe Le Monde, 2010. *Le Monde.fr* [en ligne]. [Consulté le 01 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/actualite-medias/article/2010/11/03/la-charte-d-ethique-et-de-deontologie-du-groupe-le-monde_1434737_3236.html

La réalité virtuelle modifierait la chimie de notre cerveau, 2016. [en ligne]. [Consulté le 01 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://sante.lefigaro.fr/actualite/2016/06/29/25154-realite-virtuelle-modifierait-chimie-notre-cerveau>

This is Your Brain on VR ... The Neuroscientist's Perspective, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 01 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://thriveglobal.com/stories/this-is-your-brain-on-vr-the-neuroscientist-s-perspective/>

GRIJSEELS, Dori, [sans date]. Your brain isn't the same in virtual reality as it is in the real world. *Massive Science* [en ligne]. [Consulté le 04 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://massivesci.com/articles/virtual-reality-vr-real-world-limitations-touch-smell-visual/>

Virtual Psychedelics: How VR Affects The Brain (SXSW 2017), 2017. [en ligne]. [Consulté le 04 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=jgXJyiOs7ic>

How Virtual Reality Affects The Brain, 2016. [en ligne]. [Consulté le 04 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.youtube.com/watch?v=Qlyl_qCMO5M

This is Your Brain on VR: A Look at The Psychology of Doing VR Right, 2016. [en ligne]. [Consulté le 04 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=-owQfn-iYQw>

Your Brain in Virtual Reality, 2017. [en ligne]. [Consulté le 04 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :

https://www.youtube.com/watch?v=1kv6r_JkopQ

How Does VR Rewire Your Brain?, 2017. [en ligne]. [Consulté le 04 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :

https://www.youtube.com/watch?v=wLz_sCXcEBw

Cellule de grille, 2020. *Wikipédia* [en ligne]. [Consulté le 04 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :

https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Cellule_de_grille&oldid=168663586

Neuroplasticity, 2012. [en ligne]. [Consulté le 06 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :
<https://www.youtube.com/watch?v=ELpfYCZa87g>

Exercise, Neuroplasticity, and What it Means for Your VR Vision Therapy, [sans date]. *Vivid Vision* [en ligne]. [Consulté le 06 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :
https://www.seevividly.com/blog/73/Exercise_Neuroplasticity_and_What_it_Means_for_Your_VR_Vision_Therapy

Place cell, 2020. *Wikipedia* [en ligne]. [Consulté le 06 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :

https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Place_cell&oldid=954316261

The biology behind what makes VR feel real, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 06 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :
<https://garage.hp.com/us/en/innovation/Virtual-reality-experiences-tricks-the-senses.html>

Making Reality Virtual: How VR “Tricks” Your Brain, [sans date]. *Frontiers for Young Minds* [en ligne]. [Consulté le 06 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :
<https://kids.frontiersin.org/article/10.3389/frym.2018.00062>

Snow World, 2016. [en ligne]. [Consulté le 06 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :
https://www.youtube.com/watch?v=Nh4K_dZ7LvQ

Douleurs fantômes, possibilités de traitement et de thérapie : MyHandicap, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 07 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :
<https://www.myhandicap.ch/fr/sante/handicap-physique/protheses-amputation/douleurs-fantomes/>

Virtual Reality Treatment of Phantom Limb Pain – Moss Rehabilitation Research Institute (MRRI), [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 07 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://mrii.org/virtual-reality-treatment-of-phantom-limb-pain/>

Virtual Reality Simulation | OHSU, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 07 juillet 2020]. Disponible à l'adresse :

<https://www.ohsu.edu/simulation/virtual-reality-simulation>

How Does Medical Virtual Reality Make Healthcare More Pleasant?, 2018. *The Medical Futurist* [en ligne]. [Consulté le 20 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://medicalfuturist.com/how-does-medical-virtual-reality-make-healthcare-more-pleasant>

Virtual Human Simulation Teaches Future Docs Communication Skills, 2017. *MPR* [en ligne]. [Consulté le 20 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.empr.com/home/news/virtual-human-simulation-teaches-future-docs-communication-skills/>

Watch: Virtual Reality helps elderly experience life beyond care home walls, 2018. [en ligne]. [Consulté le 20 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=rwPoKbGovAM>

VR startup Rendeever serves nursing homes with virtual reality, 2017. [en ligne]. [Consulté le 20 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=l7TZit7tKPA>

Mémoire prospective, vieillissement normal et maladie d'Alzheimer, [sans date]. *UMR-S 1077 - NIMH* [en ligne]. [Consulté le 30 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://nimh.unicaen.fr/fr/recherche/equipe-maladies-associees-au-vieillissement/memoire-prospective-vieillissement-normal-et-maladie-dalzheimer/>

Dictionnaire médical de l'Académie de Médecine, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 30 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <http://dictionnaire.academie-medecine.fr/index.php?q=connectivite%20fonctionnelle>

CHOU, Ying-hui, WEINGARTEN, Carol P., MADDEN, David J., SONG, Allen W. et CHEN, Nan-kuei, 2012. Applications of Virtual Reality Technology in Brain Imaging Studies. *Virtual Reality in Psychological, Medical and Pedagogical Applications* [en ligne]. 12 septembre 2012. [Consulté le 31 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.intechopen.com/books/virtual-reality-in-psychological-medical-and-pedagogical-applications/applications-of-virtual-reality-technology-in-brain-imaging-studies>

5 Ways Medical Virtual Reality Is Changing Healthcare, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 31 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://medicalfuturist.com/5-ways-medical-vr-is-changing-healthcare/>

Vicarious Surgical, startup that uses VR and robotics lands \$16.8M in funding, 2018. *MobiHealthNews* [en ligne]. [Consulté le 31 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.mobihealthnews.com/content/vicarious-surgical-startup-uses-vr-and-robotics-lands-168m-funding>

Vicarious' surgical robot gets FDA breakthrough status, [sans date]. *MedTech Dive* [en ligne]. [Consulté le 31 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.medtechdive.com/news/vicarious-surgical-robot-gets-fda-breakthrough-status/568508/>

The company also announced Scott Huennekens, former CEO of Google and Johnson & Johnson's robotic surgery joint venture, joined its board of directors.

Présentation des logiciels de TERV C2Care par le docteur Eric Malbos - YouTube, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 31 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.youtube.com/watch?time_continue=331&v=ScPpYHrok28&feature=emb_logo

Annexe 1 : Game Design Document

RythmoSpace

Game Design Document

Pittet Nicolas

06.06.2020

V1.0

Table des matières

<i>Pitch</i>	79
<i>Histoire</i>	79
<i>Camera</i>	79
<i>Personnage</i>	79
<i>Contrôles</i>	79
<i>Mécaniques</i>	79
<i>Plateforme</i>	79
<i>Références</i>	79

Pitch

Jeu en réalité virtuelle à la première personne dans lequel le joueur va faire face à des cibles se rapprochant de lui. Il a la possibilité, lorsque les cibles se trouvent à proximité, de les toucher afin de gagner des points.

Histoire

Ce jeu n'a pas d'histoire en particulier. Il est destiné à des personnes en pleine rééducation des membres supérieurs. A l'aide de ses mains, le joueur va pouvoir toucher des cibles dans le but de travailler certains mouvements qui deviennent de plus en plus difficiles à réaliser selon les niveaux.

Caméra

Vue à la première personne. La caméra suit les mouvements de tête du joueur et permet de voir l'environnement qui l'entoure.

Personnage

Le joueur incarne un humain capable de détruire des cibles à l'aide de ses mains ou de bâtons.

Contrôles

Un visiocasque, deux manettes ainsi que des capteurs permettent de suivre les mouvements de tête et des mains. A l'aide des touches se situant sur les manettes, le joueur peut mettre le jeu sur pause, reprendre la partie ou revenir au menu. Le fait de toucher une cible avec ses mains ou ses bâtons lui permet de détruire les cibles.

Mécaniques

Le joueur doit toucher des cibles à l'aide de ses mains ou de bâtons afin d'obtenir le plus de points possibles. Lorsque le joueur touche 5 cibles d'affilée, un multiplicateur de points s'incrémente (maximum de 4) afin de le récompenser lorsqu'il ne commet aucune faute. S'il commet un certain nombre de fautes à la suite, le jeu s'arrête et affiche son score. Le joueur peut commettre un plus grand nombre de fautes dans les premiers niveaux. Dans les niveaux « difficiles », le joueur doit toucher un côté spécifique des cibles.

Plateforme

PC.

Références

Les jeux de rythmes tels que Beat Saber et Guitar Hero.