



HAL
open science

**Les intérêts pédagogiques du tutoriel immersif sur
l'apprentissage technique appliqué au domaine
médico-chirurgical : études sur la rétention, la
restitution de connaissances théoriques, l'apprentissage
des techniques et sur la généralisation au monde réel
d'une procédure technique apprise**

Maxime Ros

► **To cite this version:**

Maxime Ros. Les intérêts pédagogiques du tutoriel immersif sur l'apprentissage technique appliqué au domaine médico-chirurgical : études sur la rétention, la restitution de connaissances théoriques, l'apprentissage des techniques et sur la généralisation au monde réel d'une procédure technique apprise. Education. Université Paul Valéry - Montpellier III, 2021. Français. NNT : 2021MON30090 . tel-03710504

HAL Id: tel-03710504

<https://theses.hal.science/tel-03710504>

Submitted on 30 Jun 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THÈSE

Pour obtenir le grade de
Docteur

Délivré par **Université de Montpellier 3**

Préparée au sein de l'Ecole Doctorale 58
Langues, Littératures, Cultures, Civilisations

Et de l'unité de recherche EA 3749
Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique
Éducation et Formation

Spécialité : Epistémologie, Didactique, Education et
Formation.

Présentée par **Maxime ROS**

**LES INTERETS PEDAGOGIQUES DU
TUTORIEL IMMERSIF SUR
L'APPRENTISSAGE TECHNIQUE
APPLIQUE AU DOMAINE MEDICO-
CHIRURGICAL.**

**ETUDES SUR LA RETENTION, LA
RESTITUTION DE CONNAISSANCES
THEORIQUES, L'APPRENTISSAGE DES
TECHNIQUES ET SUR LA
GENERALISATION AU MONDE REEL
D'UNE PROCEDURE TECHNIQUE
APPRISE.**

Soutenue le 27 Novembre 2021 devant le jury composé de

Franck GATTO, Maître de Conférences, HDR, Université Montpellier 3
Nicolas LONJON, Professeur, Université Montpellier
Catherine CYTEVAL, Professeur, Université Montpellier
Nancy RODRIGUEZ, Maître de Conférences, Université Montpellier

Directeur
Président
Examinateur
Examinateur



Remerciements

Je tiens à remercier mon Directeur de Thèse, Franck GATTO, M.C.F, Habilité à Diriger les Recherches en Sciences de l'Éducation, pour son soutien et son accompagnement. Son écoute, son souci de détail et ses précieux conseils m'ont permis de mener ce travail à bout.

Je remercie ceux qui ont contribué à la mise en place des différentes recherches, notamment le Pr Nicolas LONJON et le Dr Blaise DEBIEN qui ont suivi et vu se développer le projet.

J'adresse mes remerciements à l'ensemble des étudiants et collègues qui ont bien voulu donner de leur temps pour participer volontairement et rendre les différentes études possible. J'espère pouvoir leur apporter un nouvel outil qui participera à améliorer leur quotidien professionnel.

Je remercie Lorenz S. NEUWIRTH, véritable partenaire, il m'a donné le goût de la publication scientifique.

Je remercie mes pairs Chirugiens, Neurochirugiens, Médecins et Pédiatres pour m'avoir tout d'abord transmis le goût de la pratique, de cette belle spécialité, et m'avoir encouragé alors que le projet n'en était qu'à ses balbutiements. Je pense à mes formateurs du tout début qui m'ont transmis les piliers de la prise en charge: Pr Franck-Emmanuel ROUX, qui m'a accueilli en Neurochirurgie, la douceur et l'empathie; Dr Sergio BOETTO, qui m'a formé à la Neurochirurgie Pédiatrique, la collaboration et l'esprit d'équipe transdisciplinaire; Dr Eric SCHMIDT, qui m'a permis de réaliser mon Master aux Arts & Métiers, l'ouverture d'esprit et la recherche; Pr SALES DE GAUZY, qui m'a enseigné une autre spécialité pédiatrique dans son service d'Orthopédie, la rigueur et la méthode; Dr Emmanuel MOYSE, qui m'a transmis ses connaissances au fur et à mesure de son propre apprentissage, la camaraderie et le dévouement.

J'adresse mes remerciements aux équipes paramédicales avec lesquelles j'ai pu travailler, elles ont fait partie intégrante de mon apprentissage.

J'ai une pensée particulière pour les différents services qui m'ont accueilli après l'internat : Marseille, Bordeaux, Paris, Montpellier. Ce parcours, tour de France, est à l'origine de la volonté d'améliorer l'historisation et le partage des savoir-faire.

Je remercie les membres de l'Académie de Chirurgie, en particulier Pr Dominique FRANCO et Dr Philippe MARRE, la reconnaissance de la communauté par leur voix a été un point capital.

J'adresse un remerciement à mes Amis fidèles, en particulier François et Mathieu, nos trajectoires professionnelles ont bien divergé, mais la fraternité est toujours aussi présente et intense.

Je remercie mes Parents, mon Frère, ainsi que mes Beaux-Parents pour m'avoir accompagné dans des prises de décision difficile et toujours poussé à aller de l'avant.

Je remercie Sarah, ma femme, qui m'aide à concrétiser, à réaliser, et par la même, à me réaliser. Sa patience et sa confiance sont le terreau qui permet de tout rendre possible.

Je remercie REVINAX, celles et ceux qui ont aidé cette formidable aventure de vie, humaine.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	3
1.1. DES CONSTATS ALARMANTS	4
1.2. L'APPRENTISSAGE DE LA CHIRURGIE : <i>LE COMPAGNONNAGE ET SES LIMITES</i>	5
1.3. LA REALITE VIRTUELLE IMMERSIVE.....	7
1.3.1 HISTORIQUE DE LA REALITE VIRTUELLE.....	7
1.3.2 UTILISATION DE LA REALITE VIRTUELLE DANS LA MEDECINE.....	8
1.4. LES DIFFERENTS ENVIRONNEMENTS EN REALITE VIRTUELLE	10
1.4.1 IMAGES DE SYNTHESE ET VIDEOS A 360 DEGRES	10
1.4.2 VIDEOS A 180 DEGRES FPV	11
2. LA FORMATION EN CHIRURGIE.....	14
2.1. LE COMPAGNONNAGE : ASPECTS COGNITIFS DE L'APPRENTISSAGE CHIRURGICAL	15
2.2. L'IMPACT DE LA DESHUMANISATION SUR LA FORMATION EN MEDECINE.....	21
2.3. LE FILM CHIRURGICAL : UN OUTIL POUR APPRENDRE	24
2.3.1. QUELS OUTILS POUR APPRENDRE ?	24
2.3.2. LE FILM CHIRURGICAL	25
2.3.3. LES FILMS EN MEDECINE ET L'APPRENTISSAGE.....	28
3. LA REALITE VIRTUELLE EN PEDAGOGIE.....	30
3.1. ENVIRONNEMENTS D'APPRENTISSAGE EN REALITE VIRTUELLE	31
3.2. ASPECTS COGNITIFS DE L'APPRENTISSAGE EN REALITE VIRTUELLE.....	36
3.2.1. LE SENTIMENT DE PRESENCE EN REALITE VIRTUELLE	36
3.2.2. L'IMPACT DE LA REALITE VIRTUELLE SUR LA CHARGE COGNITIVE	39
3.2.3. AUGMENTATION DE LA MOTIVATION ET DE L'INTERET DES APPRENANTS	41
3.2.4. AMELIORATION DE L'APPRENTISSAGE DE COMPETENCES, AUGMENTATION DE LA RETENTION MNESIQUE ET AMELIORATION DES PERFORMANCES AU TRAVERS DE L'ENVIRONNEMENT VR.....	42
3.3. UTILISATION DE LA REALITE VIRTUELLE DANS L'APPRENTISSAGE DE LA CHIRURGIE	44
3.4. LES QUESTIONS DE RECHERCHE.....	48
3.5. PROPOSITION D'UN NOUVEL OUTIL : LE TUTORIEL IMMERSIF EN REALITE VIRTUELLE COMME OUTIL D'APPRENTISSAGE EXPERIENTIEL.....	49
3.5.1. CREATION D'UN ENVIRONNEMENT D'APPRENTISSAGE 3D EN REALITE VIRTUELLE BASE SUR LE FILM SELON L'ANGLE DE VUE DE L'OPERATEUR.....	49
3.5.2. LE TUTORIEL IMMERSIF EN REALITE VIRTUELLE COMME OUTIL D'APPRENTISSAGE EXPERIENTIEL.....	53
4. ETUDES DU TUTORIEL IMMERSIF EN REALITE VIRTUELLE.....	58
4.1. VALIDATION DU CONCEPT PAR LES CHIRURGIENS	61
4.1.1. PROTOCOLE	61
4.1.2. RESULTATS	62
4.2. LE TUTORIEL IMMERSIF EN COMPLEMENT DES RESSOURCES HABITUELLES.....	65
4.2.1. PROTOCOLE	65
4.2.2. RESULTATS	70
4.3. VALIDATION PRATIQUE DU TUTORIEL IMMERSIF	75
4.3.1. PROTOCOLE	75
4.3.2. RESULTATS	79
4.3.3. ANALYSE DETAILLEE	87
4.4. APPLICATION DU TUTORIEL IMMERSIF A GRANDE ECHELLE :.....	95
4.4.1. CRISE SANITAIRE	95

4.4.2.	<i>PROTOCOLE</i>	98
4.4.3.	<i>RESULTATS</i>	100
5.	INTEGRER LA VR DANS UN PROGRAMME DE FORMATION	105
5.1.	EVITER LE RISQUE PEDAGOGIQUE	107
5.1.1.	<i>EFFETS ADVERSES DE LA REALITE VIRTUELLE</i>	107
5.1.2.	<i>BIAIS LIES A L'UTILISATION D'UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE VR</i>	108
5.2.	DECIDER QUAND UN DESIGN PEDAGOGIQUE EN VR PEUT ETRE BENEFIQUE	110
5.3.	QUEL ENVIRONNEMENT VR IMMERSIF CHOISIR :	114
5.3.1.	<i>ACCESSIBILITE DANS LES ENVIRONNEMENTS VR IMMERSIFS</i>	114
5.3.2.	<i>AUTONOMIE D'ACCES AUX ENVIRONNEMENTS VR IMMERSIFS</i>	115
5.3.3.	<i>COUT DE DEVELOPPEMENT DES ENVIRONNEMENTS VR IMMERSIFS</i>	115
5.4.	INCORPORER LA VR DANS UN PROGRAMME DE FORMATION	117
5.5.	COMPARAISON DU TUTORIEL IMMERSIF AVEC LES AUTRES ENVIRONNEMENTS DE REALITE VIRTUELLE	120
5.6.	APPORTS PEDAGOGIQUES DU TUTORIEL IMMERSIF. SYNTHESE DES RESULTATS.	121
6.	LA THESE	123
7.	PROJECTIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE	126
8.	REFERENCES	129
9.	ANNEXES	147
9.1.	ANNEXE 1. ARTICLE – DE LA REALITE VIRTUELLE IMMERSIVE – E-MEMOIRES DE L'ACADEMIE NATIONALE DE CHIRURGIE (2017)	148
9.2.	ANNEXE 2. ARTICLE – DE L'ENREGISTREMENT STEREOSCOPIQUE AUX CASQUES DE REALITE VIRTUELLE : CONCEPTION D'UN NOUVEAU MOYEN POUR APPRENDRE LA CHIRURGIE – NEUROCHIRURGIE (2017)	154
9.3.	ANNEXE 3. ARTICLE - UTILISER LE TUTORIEL IMMERSIF EN REALITE VIRTUELLE POUR APPRENDRE A REALISER UNE NOUVELLE TECHNIQUE – NEUROCHIRURGIE (2020)	162
9.4.	ANNEXE 4. ARTICLE - LES EFFETS D'UNE APPLICATION EN REALITE VIRTUELLE IMMERSIVE, BASEE SUR LA VIDEO EN POINT DE VUE A LA PREMIERE PERSONNE, SUR L'APPRENTISSAGE ET LES PERFORMANCES LORS DE LA GENERALISATION D'UNE PROCEDURE MEDICALE DE PONCTION LOMBAIRE – ETRD (2020)	170
9.5.	ANNEXE 5. ARTICLE – AUGMENTER SENSIBILISATION GLOBALE EN UN TEMPS RESTREINT AUX DIRECTIVES COVID-19 GRACE A DES TUTORIELS EN POINT DE VUE A LA PREMIERE PERSONNE : METHODE D'ENSEIGNEMENT PORTABLE EN CAS DE CRISE DE SANTE PUBLIQUE – NURSE EDUCATION TODAY (2020)	201
9.6.	ANNEXE 6. CHAPITRE – ENVIRONNEMENTS DE REALITE VIRTUELLE IMMERSIVE BASEE SUR DES FILMS STEREOSCOPIQUES A 180 DEGRES : APPLICATION POUR FORMER LES CHIRURGIENS ET LES AUTRES PROFESSIONELS MEDICAUX– CASES ON INSTRUCTIONAL DESIGN AND PERFORMANCE OUTCOMES IN MEDICAL EDUCATION, IGI (2020)	210

1. INTRODUCTION

1.1. DES CONSTATS ALARMANTS

D'après un article paru dans le Lancet en 2015, cinq milliards d'individus dans le monde n'ont pas accès à la chirurgie (Meara et al., 2015). L'Organisation Mondiale de la Santé a identifié quarante-quatre gestes médico-chirurgicaux essentiels. Leur maîtrise permettrait de sauver un à cinq millions de vies par an (Mock et al., 2015).

Du fait de l'augmentation de la population, les équipes chirurgicales (chirurgiens, anesthésistes, infirmiers, obstétriciens) doivent au moins doubler d'ici à 2030 pour seulement maintenir ce niveau de soins. Ce qui impose d'augmenter les capacités de formation.

Par ailleurs, les dépenses de santé n'ont cessé d'augmenter. Dans les pays développés, un tiers de ces dépenses sont imputées à des erreurs médicales. Ces erreurs correspondent à la troisième cause de mortalité (Makary & Daniel, 2016). Elles sont liées en partie à une mauvaise compréhension, une mauvaise connaissance, un manque de formation. Les coûts liés à la formation sont d'ailleurs très différents d'un pays à l'autre, avec en tête de liste les États-Unis (plusieurs centaines de milliers de dollars), en 2010 le budget total alloué à la formation au niveau international correspond à 2% de l'ensemble du budget santé, estimé à 100 Milliards de Dollars (Frenk et al., 2010).

Parallèlement, le rapport de la Haute Autorité de Santé de 2010 (Harousseau, 2010) stipule qu'il n'est plus question de réaliser pour la première fois un geste sur un patient. Il est donc indispensable d'apprendre avec de nouveaux outils.

La formation des chirurgiens et des personnels de santé est une clef pour améliorer la santé à l'échelle mondiale. L'OMS a ainsi hissé la chirurgie au rang de priorité internationale des actions sanitaires à développer (Lombardo & Price, 2016). 5 Milliards d'individus n'ont pas accès à la chirurgie. Si un ensemble de 44 procédures étaient connues de par le monde, jusqu'à 5 millions de vie pourraient être sauvées par an.

1.2. L'APPRENTISSAGE DE LA CHIRURGIE : *Le compagnonnage et ses limites*

L'apprentissage de la chirurgie ne se résume pas à l'apprentissage d'un geste, le geste est un des moyens thérapeutiques que peut utiliser le chirurgien. L'apprentissage du geste en lui-même fait appel à plusieurs fonctions cognitives : la mémoire (déclarative ou non), les praxies (intentionnalité du geste), et les fonctions exécutives qui sont des processus cognitifs de haut niveau nécessitant l'adaptation/flexibilité mentale, la mise à jour des informations ainsi que leur contrôle/monitorage et l'inhibition de certaines réponses prépondérantes (Miyake et al., 2000) permettant ainsi de s'adapter aux situations nouvelles, de planifier, et d'initier, réaliser et contrôler des activités requérant un niveau élevé d'intégration. Apprendre un geste peut demander beaucoup de temps et d'itérations. Mimétisme et constructivisme sont les moyens naturels qu'utilise l'Homme au cours de son développement. Dans le milieu chirurgical, le mimétisme est la première modalité d'apprentissage, faisant intervenir les neurones miroirs (Rizzolatti & Craighero, 2004). Ces neurones sont définis comme des « circuit neuronaux qui

sont impliqués directement dans notre analyse visuelle des autres, encodent l'empathie, et facilitent l'apprentissage en regardant les autres en train de faire une tâche, lui donnent sa valeur et implémentent ces tâches en nous-mêmes ».

Il est nécessaire, notamment dans le milieu chirurgical, de suivre un professionnel au cours de la réalisation des procédures qui va enseigner progressivement ce geste. Tout d'abord l'apprenant assiste à la procédure, il voit l'enseignant la réaliser. Puis progressivement il va assister l'enseignant à la réalisation de la procédure. Les rôles s'inversent ensuite peu à peu avec l'enseignant qui va laisser faire certaines étapes du geste à l'apprenant en l'assistant, jusqu'à ce que ce dernier devienne totalement autonome. C'est la méthode du compagnonnage (voir chapitre 3.1 « *Le Compagnonnage : Aspects Cognitifs de l'Apprentissage Chirurgical* ») : pour apprendre, un chirurgien doit vivre beaucoup d'expériences différentes, dans des contextes différents, avec des patients différents. Il doit approcher et comprendre la grande variabilité interindividuelle, pour être au point lorsqu'il passera lui-même à l'action. Il a été montré que plus un chirurgien voyait une intervention, meilleur il sera lors de sa première réalisation, et, meilleur il restera ensuite (Custers et al., 1999). Depuis les démonstrations magistrales en amphithéâtre, au compagnonnage et à l'assistance au bloc opératoire, le principal écueil de l'apprentissage de la chirurgie est la différence de perspective, d'angle de vue entre le maître et l'élève. L'angle de vue du maître, opérateur principal, directement en face de la zone d'intérêt sur le champ opératoire, et l'angle de vue de l'élève qui est souvent à côté, ou en face. La vision des gestes techniques et du champ opératoire n'est alors pas du tout la même. L'apprenant doit mémoriser avec un angle de vue biaisé : il est soit en face de l'opérateur principal, soit à côté et il ne voit pas toujours les détails de la procédure. Lorsqu'il devient lui-même l'opérateur principal, des erreurs d'inversion sont commises. L'importance de cet angle de vue est capitale. Visualiser l'opération à la première personne permet d'éliminer les entraves, les gênes à une bonne visibilité du champ par l'apprenant. Il a été montré, notamment grâce à l'IRM

fonctionnelle (Jackson et al., 2006), qu'avoir accès à cet angle de vue, permet d'activer de façon plus importante le réseau des neurones miroirs. Les aires corticales cérébrales correspondantes aux membres sollicités lors de la réalisation du geste sont activées. Le processus de mémorisation d'un geste s'en trouverait simplifié. Par ailleurs, l'apprentissage d'un geste en vue directe, à la première personne a montré son intérêt : l'apprentissage de cette façon permet de réduire la charge cognitive (Van Gog et al., 2008) et la réalisation consécutive du geste s'en trouve amélioré (Fiorella, Van Gog, et al., 2017) avec moins d'erreurs qui sont commises. Pour autant, dans le cadre de la chirurgie, chaque situation étant particulière, même lorsque l'apprenant devient autonome pour la réalisation d'une procédure, il devra être confronté à un grand nombre de cas différents afin de devenir compétent.

Qu'en est-il du constructivisme ? Selon une phrase attribuée à Piaget (1968), pour résumer ses travaux "la connaissance est activement construite par l'apprenant et non passivement reçue de l'environnement". Il s'agit de vivre un grand nombre d'expérience mais aussi d'exercer, de pratiquer afin d'assimiler et de modifier, « *accommoder* » en fonction ses structures cognitives. Dans l'exercice de la chirurgie, une manipulation avec apprentissage par succès-erreurs ne peut se faire au cours d'une procédure *in vivo* (ce que dénonce justement la HAS en 2010). Les chirurgiens se sont d'abord entraînés sur des cadavres au laboratoire d'anatomie, il est désormais question d'utiliser d'autres médias pour parvenir à transmettre ces apprentissages.

1.3. LA REALITE VIRTUELLE IMMERSIVE

1.3.1 HISTORIQUE DE LA REALITE VIRTUELLE

En 1956, Morton Heilig conçoit une première machine stéréoscopique (3D) dynamique nommée le sensorama : précurseur des premiers outils de réalité virtuelle il permettait une

vision stéréoscopique associée aussi à d'autres sensations tel que le toucher avec une production de vent. Le premier casque professionnel sera utilisé par les pilotes d'avion : c'est en 1981 que Furness réalise le premier à des fins de simulation. Les casques se développeront peu à peu et c'est en 1985 (Lowood, 2012) que Lanier introduit le terme de réalité virtuelle « Virtual Reality » (VR) . Il ne s'agit pas d'un oxymore contrairement à ce qu'on pourrait croire. Il s'agit de décrire une autre réalité, qui permet de prendre le contrôle du temps et de l'espace. Le terme réalité faisant référence en fait au présent. Dans les années 90 plusieurs modèles de casques plus grand public sortent : ils ont pour objectif le divertissement et le jeu vidéo, mais le taux d'adoption restera faible par manque de réalisme. Ainsi dans les contextes de formation et/ou de simulations, la VR a été initialement utilisée par les pilotes d'avion et a été intégrée dans de nombreux autres secteurs éducationnels (Dixon, 2006; Gigante, 1993; Mazuryk & Gervautz, 1996; Vince, 1993).

Du fait de la miniaturisation des composants électroniques, et de l'augmentation de la puissance de calcul, la réalité virtuelle est revenue sur le devant de la scène en 2012. Les casques des débuts étaient plus qu'encombrants et peu immersifs car ils ne donnaient accès qu'à un petit nombre d'informations. Ces appareils ont désormais fait place à des casques légers, pouvant fonctionner à l'aide de téléphones portables, et donnant accès de multiples informations. Dorénavant beaucoup de domaines sont sensibilisés à l'utilisation de la VR et le nombre d'articles publiés traitant de la VR sur le U.S. National Library of Medicine croît exponentiellement.

1.3.2 UTILISATION DE LA REALITE VIRTUELLE DANS LA MEDECINE

Historiquement les premiers systèmes VR utilisés dans le domaine médical étaient non immersifs (c'est à dire sans casque). Leur utilisation a débuté dans les années 1990 (pour revue,

voir Schroeder (1993). Les premiers articles de médecine traitant de la réalité virtuelle – non encore immersive – se rapportent à l'étude de l'autisme (Max & Burke, 1997). Ils avaient un double but : le premier était de comprendre les interactions d'une personne autiste avec le monde environnant ; et en sens inverse ont aussi permis de mieux comprendre la réalité virtuelle.

Dans son caractère immersif (avec casque), plus récent, la réalité virtuelle en médecine comme dispositif médical pourrait être séparée en : VR-thérapie et VR-diagnostic.

La VR-thérapie permet d'apporter un traitement. Elle peut être décomposée en :

- VR-cognitive : se sert du potentiel empathique, elle permet de se projeter dans un environnement, et ainsi de percevoir, d'appréhender un comportement, un événement, en aidant à la prévisualisation. Elle peut être utilisée comme hypnotique, et analgésique, visant dans le premier cas à diminuer des douleurs per-opératoires (Arane et al., 2017; Chan et al., 2019; Indovina et al., 2018) par détournement de l'attention, ou des douleurs chroniques par effet relaxant dans le deuxième cas (Chan et al., 2019; Dunn et al., 2017; Indovina et al., 2018; Jin et al., 2016; Jones et al., 2016). Elle peut aussi servir de traitement dans le cas de phobies (avec comme contre-indication pour l'instant la claustrophobie) grâce à des mises en conditions.
- VR-physique : permet des rééducations physiques que ce soit du point de vue de l'équilibre et même d'un point de vue moteur (Laver et al., 2015; Ravi et al., 2017).

La VR-diagnostic peut être utilisée en per-opératoire lors d'une procédure de Neurochirurgie éveillée pour aider à la réalisation d'une cartographie du cerveau (Bernard et al., 2018; Delion et al., 2020) avec par exemple l'analyse en temps réel du champ visuel (Mazerand et al., 2017) comme cela a été pratiqué au CHU d'Angers. Il s'agit d'une opération réalisée chez un patient atteint d'une tumeur cérébrale et pour lequel le chirurgien veut préserver les voies de la vision : le patient est alors réveillé en cours d'intervention et les voies optiques sont ainsi testées grâce

à un casque de réalité virtuelle porté par le patient. Cela permet d'objectiver ou non l'atteinte de ces voies au cours de la résection. Une autre utilisation de la VR-diagnostic est par exemple la visualisation de la reconstruction 3D de l'imagerie du patient. Ceci permet de visualiser exactement les rapports anatomiques avec une potentielle lésion, de pouvoir mieux anticiper les variations anatomiques inter-individuelles, et ainsi de pouvoir la délimiter pour préparer au mieux l'intervention (Guerriero et al., 2018; Zheng et al., 2019).

Enfin, la médecine est l'un des premiers secteurs d'application et de recherche sur l'apprentissage en réalité virtuelle (Concannon et al., 2019) du fait notamment des possibilités de visualisation et d'exercice qu'elle permet en toute sécurité et que nous allons détailler.

1.4 LES DIFFERENTS ENVIRONNEMENTS EN REALITE VIRTUELLE

1.4.1 IMAGES DE SYNTHÈSE ET VIDEOS A 360 DEGRES

Les environnements VR immersifs sont typiquement créés à partir d'images de synthèse ou de vidéos à 360 degrés. Les images de synthèse permettent d'élaborer tout un environnement et même de faire paraître cet environnement artificiel le plus réaliste possible, alors que les vidéos 360 projettent « tout simplement » un vrai film. Les images de synthèse trouvent tout naturellement en premier lieu une utilisation indéniable lorsqu'on ne peut filmer et projeter une situation. Les images de synthèse ont initialement été beaucoup plus attractives du fait de l'interaction complète qu'elles permettent avec l'environnement. Malgré tout, le problème principal est le coût de création de ces environnements qui peut se révéler très onéreux. Ceci est lié aux fonctionnalités d'interactions à développer, mais aussi au réalisme attendu. Ainsi, plus l'on souhaite quelque chose de réaliste, plus cela coûte cher. De plus, il faut un certain temps pour créer et développer ce genre d'environnements, ce qui ne permet pas de proposer

rapidement de nouvelles expériences. Enfin, le déploiement de ces environnements VR à haute valeur pédagogique a aussi pour le moment du mal à se faire à grande échelle du fait de la nécessité de passer par l'achat de matériel spécifique.

Les vidéos 360 peuvent être utilisées à la place des images de synthèse pour aider les personnes à se projeter dans un contexte ou bien une situation qui est élaborée pédagogiquement par l'instructeur. Cette expérience délivre un point de vue simulé à la première personne. L'interaction de l'utilisateur vient alors uniquement de ce contenu vidéo. Elle se fait généralement sous forme de questions apparaissant sur l'écran, ou d'arbres décisionnels permettant de tester l'apprenant sur la compréhension de l'action qui est réalisée. Ces vidéos sont bien plus rapides à produire que les images de synthèse, le contenu est intrinsèquement réaliste (puisque provenant de situations réelles filmées), et de ce fait est même plus simple à déployer, y compris en dehors d'un casque de VR. Malgré tout, le problème survient quand l'utilisateur doit apprendre à réaliser une procédure (savoir pratique) puisqu'il n'est pas capable de se positionner soi-même en point de vue à la première personne et d'optimiser le fonctionnement de ses neurones miroirs pour finalement s'immerger intégralement et améliorer son apprentissage.

1.4.2 VIDEOS A 180 DEGRES FPV

Nous décrivons dans le chapitre 3.4.1 « *Création d'un Environnement d'Apprentissage 3D en Réalité Virtuelle basé sur le film selon l'Angle de Vue de l'Opérateur* » la méthode de conception de ce que nous avons appelé le tutoriel immersif correspondant à un environnement conçu et articulé autour d'une vidéo en relief (stéréoscopie / 3D) filmée selon le point de vue de l'opérateur afin de combiner les avantages des environnements décrits plus hauts, tout en permettant d'aller au-delà de leurs limites (point de vue à la première personne, rapidité de création, coût, facilité de diffusion). En plus de cette vidéo, les apprenants peuvent aussi avoir

accès à d'autres données théoriques, ou des données contextuelles (de patients par exemple) pour avoir une meilleure compréhension du cas étudié avec une approche plus profonde clinique, critique, analytique.

Les buts pédagogiques recherchés étant :

1/ d'améliorer la mémorisation

2/ d'augmenter la compréhension et la confiance dans l'implémentation d'une procédure

3/ de diminuer les erreurs lors de la réalisation d'une procédure

4/ de finalement diminuer les risques et le temps de réalisation d'une procédure.

La Figure n°1 ci-dessous résume les avantages et inconvénients aux différents types de contenu de Réalité Virtuelle.

	Images de Synthèse	Vidéo 360	Vidéo 3D 180 FPV
Point de Vue Première Personne	+		+
Valeur pédagogique Apprentissage pratique	+		?
Possibilité Visualisation stéréoscopique	+	+/-	+
Réalisme	+/-	+	+
Faible coût de développement		+	+
Rapidité de Développement		+	+

Facilité Utilisation	+	+
Facilité Diffusion	+	+

Fig. 1 : Avantages et Inconvénients des différents types d'environnements VR

2. LA FORMATION EN CHIRURGIE

2.1. LE COMPAGNONNAGE : ASPECTS COGNITIFS DE L'APPRENTISSAGE CHIRURGICAL

Certains chirurgiens déclarent pour certaines interventions « un singe peut opérer ». Ils stipulent ainsi que le geste opératoire en tant que tel n'est qu'un automatisme venant de la répétition de la visualisation d'un autre. Qu'à force de le voir, il est possible d'y arriver. Il s'agit de certaines interventions très protocolaires pour lesquelles il existe peu de variabilité inter-opératoires. Ce qui existe par contre, même lorsqu'une intervention est très codifiée, c'est la variabilité des pratiques, des outils, du geste. Ainsi même dans certaines interventions très simples, le « singe » reproduira la technique qu'il a vu, mais ne pourrait vraisemblablement pas construire sa propre technique issue des différentes façons de réaliser qu'il a vues. D'un point de vue cognitif, il semblerait d'ailleurs qu'utiliser le terme « singer » pour imiter ne soit pas correct, il s'agit plus d'un apprentissage observationnel que d'un apprentissage par l'expérience rappelle Dias (Dias, 2005) citant Visalberghi et Frigaszy (Frigaszy & Visalberghi, 1989). La chirurgie est bien un domaine dans lequel on apprend grâce aux expériences vécues. Dans le futur, quelle technologie pourrait permettre à la fois de reproduire des interventions en tirant parti du meilleur des différentes écoles ? L'intelligence artificielle ? On pourrait envisager à terme de « nourrir » un programme informatique pour qu'il puisse apprendre les différents outils, les différentes étapes d'une intervention, les différentes techniques et différents cas de figures. On pourrait imaginer

même ensuite que fort de ces « connaissances » ce programme puisse ensuite commander un robot qui réaliserait des interventions chirurgicales parfaitement calibrées et adaptées à chaque situation car il aurait pu en apprendre beaucoup plus que nul professionnel ne le pourrait. Bien que le terme d'intelligence artificielle prête à débat, il s'agirait tout d'abord d'un outil rectificatif, de concentration et d'analyse des bonnes pratiques permettant d'assister le professionnel, de l'aider dans ses choix. Une intelligence artificielle guidant un robot serait une étape de plus, mais elle resterait une imitatrice à l'instar du singe. Parler de singe et même d'intelligence artificielle est réduire le rôle du chirurgien à l'acte technique. Le chirurgien dans ses actes, dans son apprentissage, dans son enseignement doit être considéré dans sa globalité psycho-cognitive.

La mimesis d'Aristote donne à l'Homme une capacité unique : « il diffère des animaux par ses capacités d'imitation » (In, Les poétiques). C'est effectivement ainsi que l'homme va se construire, non pas uniquement dans ses compétences, mais en tant qu'individu. Cédant la place depuis le mimétisme à l'imitation : de l'instinctif à l'intentionnalité (Baudonnière, 1997). Piaget (1968) décrivait quatre stades de développement, partant de l'imitation, stipulant qu'avant tout l'enfant apprenait à imiter. Cette vision est mise en défaut par Meltzoff et Moore pour qui il s'agit d'une compétence innée (Dias, 2005).

Les chirurgiens ont l'habitude de parler de « compagnonnage » lorsqu'il est question de l'apprentissage de leur discipline. Pour autant, il s'agirait d'accompagnement plutôt que de compagnonnage, Rajon insiste sur la différence entre ces deux termes (Rajon, 2009). En effet le premier sous-entend une relation interpersonnelle asymétrique, ce qui est le cas étant donné la différence de niveau opératoire et d'expérience ; alors que le second considère une symétrie, qui vient en fait de l'appartenance au même corps professionnel. L'apprentissage de la chirurgie ne correspond initialement pas qu'à la transmission d'un savoir-faire, mais aussi d'un rôle, d'une façon d'envisager une équipe et la relation au patient. Muller (1996) précise :

« Ainsi, lorsqu'il est question d'apprentissage de savoirs (et de savoirs techniques), ce ne sont peut-être pas uniquement des compétences liées à un outil technique précis qui sont acquises, mais un ensemble de conduites, considérées comme appropriées dans un espace-temps socio-culturel précis. » Elle s'appuie sur deux exemples, les paludiers de Bretagne et les Compagnons du devoir. Les premiers étaient ancestralement immergés dans ce métier depuis leur plus jeune enfance et qui « ... découvre son rôle, selon le principe que quand on ne l'engueule pas, c'est qu'il se trouve sur la bonne voie. Il n'apprend pas par imitation parce qu'on ne demande en fait jamais à l'enfant de faire la même chose que l'adulte. Ainsi, s'il tient correctement son rôle, ce n'est pas parce qu'il voit, mais "parce qu'il s'y voit", par anticipation de la maîtrise à venir. »

Les compagnons du devoir ont quant à eux une transmission très codifiée avec un échange qui se fait plus sur le mode maître-disciple ou frère-ainé – frère qu'enseignant-élève. Le code va jusqu'à la façon de s'exprimer et aux valeurs (patience, humilité) qui sont à acquérir pour valider la formation. Dans les deux cas, il existe une forte appartenance à un groupe, avec une vie qui s'assimile à la profession. On pourrait dire que la chirurgie se retrouve entre les deux. Basée sur la différence d'âge et l'expérience, la relation sera plus maître-disciple ou plus fraternelle. L'individu s'assimile à sa profession. Il existe des codes, mais les valeurs sont différentes : non mise en danger du patient (*primum non nocere*, Hippocrate) et le respect confraternel.

De façon générale, l'évolution vers l'autonomie sera permise à l'apprenant qui est capable de montrer sa compréhension, sa perspicacité et son anticipation. Il s'agit pour l'apprenant de montrer à son mentor qu'il est allé au-delà du geste technique, comprenant les enjeux de l'intervention. Les premiers enjeux sont d'abord adaptés à la particularité du patient considéré, sa qualité de vie, sa souffrance, son niveau d'autonomie. Les enjeux de l'acte chirurgical sont inclus et doivent être compris dans la globalité du processus thérapeutique : diagnostic, pré ou

post-traitement additionnel (chimiothérapie ou radiothérapie), plan de rééducation. Ensuite, les enjeux au cours de la chirurgie, avec le repérage anatomique, les zones à risque, puis la gestion des imprévus. C'est la compréhension de ces enjeux qui fait entendre au mentor qu'il peut progressivement laisser la main à l'apprenant.

Houssaye (1988) définit un triangle pédagogique composé de trois angles/sujets principaux : le formateur, l'apprenant et le savoir. Il explique les interactions qui se font entre chacun des sommets de ce triangle comme étant des actions distinctes entre elles, mettant une distance avec l'angle opposé. Ainsi la relation entre le formateur et le savoir correspond à enseigner, qui ne privilégie pas l'apprenant. La relation entre le formateur et l'apprenant correspond à former, laissant un peu de côté le savoir. L'interaction entre l'apprenant et le savoir directement correspond à apprendre, le formateur étant un médiateur entre l'apprenant et le savoir. Dans le cadre de l'apprentissage de la santé, il faut intégrer ce triangle dans une autre réalité plus globale. Ainsi l'objet de cette pédagogie est le soin, et le quatrième sujet à ajouter est le patient : la personne pour qui le mentor et son apprenti souhaitent accomplir un acte chirurgical en vue de le soigner. Nous pourrions ainsi adapter ce triangle d'Houssaye sous une forme non plate mais, en relief, tétraédrique, dans laquelle l'interaction entre chacun des sommets/sujets est soigner (*Figure 2*). Lorsque l'objet de ce savoir n'est pas le soin, que la globalité de la personne du patient ne peut pas être réellement prise en compte pour différentes raisons (arrivé en urgence, patient non communicant, famille non rencontrée), il s'agit seulement d'opérer, ce qui relève plus d'une performance et n'apporte pas la même relation d'enseignement. La relation à cette tierce personne, au cours de l'acte chirurgical, peut ne devenir que la relation à un corps-machine. Le patient perdant sa corporéité au profit de sa corporalité. Notons que ce processus est malgré tout normal au cours de tout acte chirurgical, au cours duquel le praticien devient peu à peu mécanicien, et reste concentré sur le geste, sur la région anatomique et ses dangers, même lorsque l'objet soin est présent.

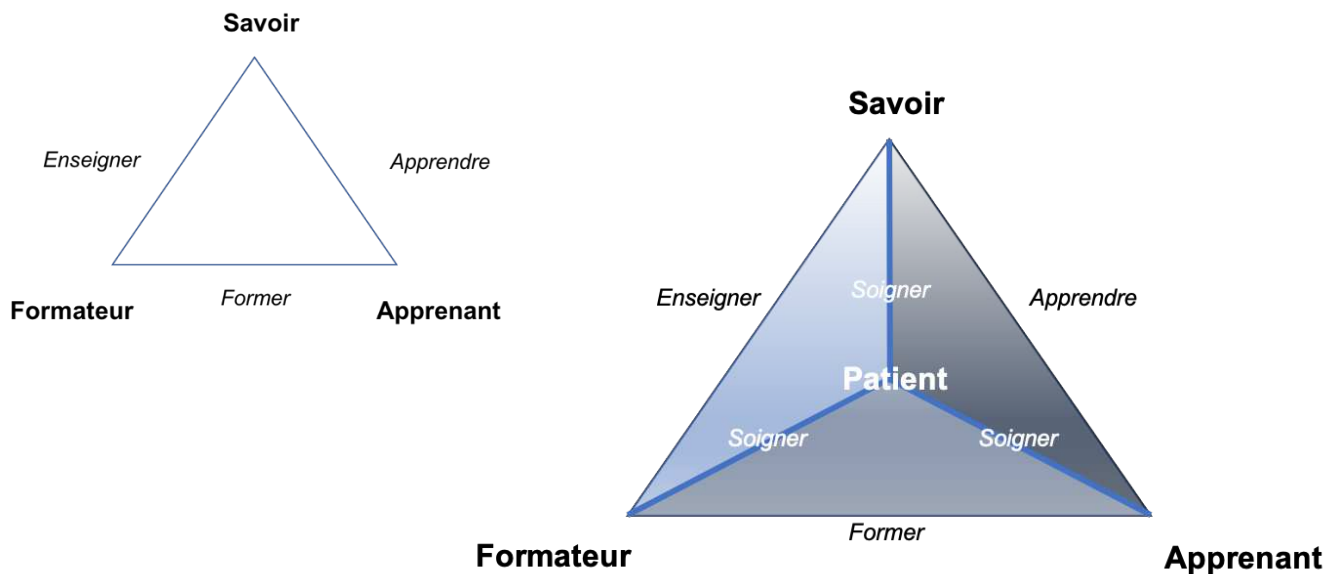


Fig. 2 : Triangle de Houssaye (1988) et son adaptation sous forme tétraédrique pour prendre en compte un quatrième angle spécifique au domaine médical : le patient.

La relation entre le mentor et son apprenti, les échanges qu'ils ont entre eux ne s'arrêtent pas sur le sas du bloc opératoire. Les moments de rapprochements les plus importants sont au cours des gardes, hors jours et/ou heures « ouvrables ». Ceci pour deux raisons consécutives. La première correspond aux moments d'attente du patient, de la rencontre de la famille, de la préparation du bloc opératoire. Les échanges à ce moment-là permettent d'établir un lien qui dépasse le milieu professionnel. L'apprenti a le temps de questionner le mentor, celui-ci a le temps de lui partager ses expériences de vie, de confronter la situation à ce qu'il a précédemment vécu. Le cas clinique présenté devient un exemple pour enseigner d'autres cas, de les comparer, de discuter des prises en charge. Cet enseignement par anecdotes s'intègre dans le processus de mémoire déclarative. Ces moments permettent aussi au mentor d'apprécier son apprenti, ses réflexions, sa perspicacité. Il lui enseigne ainsi peu à peu la façon de discuter d'un cas clinique et de faire appel à sa mémoire pour décider de la meilleure conduite à tenir.

Il s'agit de la technique de récits expérientiels qui ont par exemple montré dans une étude dans le domaine de l'aviation qu'ils étaient utilisés dans deux cas sur trois pour la résolution de nouvelles situations (Marchand, 2009). Ces discussions vont aussi au-delà, elles font appel au ressenti personnel, la nécessité de verbaliser la situation, son propre vécu jusqu'à brièvement sa vie personnelle. Ceci se produit dans le bureau, mais aussi autour d'un café, d'un repas, en attendant. Le terme compagnon « partager le pain » prend ainsi tout son sens. La relation n'est pas purement professionnelle mais fait appel aux expériences de vie, une complicité s'engage. Ainsi la deuxième étape, est la confiance qui s'installe progressivement, et permet au mentor de s'effacer peu à peu pour laisser son apprenti prendre la main sur la décision thérapeutique dans un premier temps. Puis il prend de l'autonomie sur l'installation du patient au bloc opératoire dans la position adéquate, puis la préparation, l'incision, les premiers gestes, jusqu'à réaliser l'intervention complètement sans assistance de son maître. Il s'agit en définitive d'un « apprentissage sur le tas » accompagné, d'un apprentissage en situation de travail. La confiance naît de l'analyse du raisonnement, et aussi de la complicité entre le mentor et son apprenti. Finalement le compagnonnage laisse progressivement la place à l'accompagnement : ces notions ne sont pas antinomiques, mais se succèdent en fonction de la confiance qui a pu s'installer progressivement. Rajon (2009) fait appel au livre biblique de Tobie : celui-ci finira par s'effacer une fois que son compagnon aura pris sa destinée.

Du fait de l'objet même de cet apprentissage qu'est le soin qu'en est-il de la relation affective directe entre l'apprenti et son mentor ? Comme probablement dans toute relation entre un détenteur de savoir et un assoiffé d'apprendre il doit exister certains mécanismes de transfert qui se mettent en place. Ceci est peut-être exacerbé par la nécessité absolue de devoir faire confiance au mentor de par le dramatisme de la conséquence d'un mauvais geste. De l'admiration initiale, de la prise de confiance, se construit finalement un amour fraternel, que l'on pourrait rapprocher de l'amour compassionnel. Virat dans sa thèse en explique les

différentes définitions (Virat, 2015). Il n'est pas seulement à entendre selon la racine étymologique du « pathos » de la souffrance, mais aussi de sentiments positifs, de co-ressentir. L'appartenance à cette même grande famille, la volonté bienveillante de faire en sorte que l'apprenant réussisse car, l'objet de la transmission est le soin.

2.2. L'IMPACT DE LA DESHUMANISATION SUR LA FORMATION EN MEDECINE

Considérons que la déshumanisation des soins est de ne plus prendre en compte la relation avec le patient comme centrale dans la prise en charge, dans le projet thérapeutique. Dans le cadre de la formation en santé, qu'advient-il lorsqu'il n'y a plus l'objet soin à la transmission de ce savoir ? Lorsque le souci du prochain n'est plus pris en compte ? A quoi se réfère-t-on alors ? Nous avons assisté ces dernières années à un constat terrible : une augmentation de suicides d'internes, un mal être au travail avec des états dépressifs (Marra, 2018). Les origines sont multiples. Le burn-out étant désormais reconnu, les gens y porteraient-ils plus attention, comme l'effet diagnostic de la découverte d'une nouvelle maladie ? Pour autant, il y avait semble-t-il le même volume de travail auparavant, et sans parler de burn-out, il ne semble pas que le nombre de suicides étaient aussi importants. Dans les critères relevés, il est notamment pointé la diminution du compagnonnage lié à l'augmentation du nombre d'étudiants sans augmentation consécutive des personnes capables de mentorer. Par ailleurs le temps imparti au patient se voit lui aussi diminué de par une réorientation du temps de travail vers des tâches administratives. Il s'agirait donc d'un défaut quantitatif du « volume de compagnonnage ». Existe-t-il un défaut par ailleurs qualitatif dans la façon dont il est mené ? Ce défaut qualitatif

pouvant être justement exacerbé par le fait que le système entier de soins éprouve de plus en plus de difficultés à pouvoir intégrer le patient au centre de ses réflexions.

Dans cette transmission qui se fait par imitation, mimétisme, pourrions-nous faire appel à la théorie de Girard (1972) établissant le désir mimétique? Le désir ne naît pas spontanément mais il est l'imitation d'un désir d'autrui. Ce phénomène est à l'origine alors d'un conflit, voire d'une rivalité qui s'établit entre celui de par qui le désir né et celui qui va imiter ce désir. L'issue possible qui est appliquée par les Hommes afin de recréer un nouvel ordre est la désignation d'un bouc émissaire qui emporte avec lui ce conflit et permet de retrouver le calme en un nouvel ordre. Les relations n'ayant plus un but commun de soin, ce sont des rapports de force qui s'exercent alors. L'objet du désir, purement externe est celui que souhaite l'autre. La majeure partie des étudiants en médecine, lorsqu'ils s'engagent, voient l'image d'Épinal du soignant prodiguant des soins. Ils sont capables très rapidement d'un transfert vers le mentor. Si l'objet de la transmission du savoir n'est plus, la déception de cette découverte contraire à leurs attentes devient un premier traumatisme. Prenant la voie du désir mimétique, selon la théorie de Girard (1977 ; 1982) il s'en suit une crise mimétique, avec des rapports de force non seulement envers leur mentor qu'ils considèrent comme un traître, que contre les autres spécialistes qu'ils considèrent complices. Évoluant dans cet état d'esprit, eux-mêmes deviennent les professionnels qu'ils décriaient et agissent de la sorte. Il y a ceux qui entrent dans le jeu, ceux qui le rejettent. Le processus de victimisation est ensuite établi conduisant à la dénonciation d'un bouc émissaire. Ce bouc peut-il supporter une telle pression sur ses épaules ?

Ne sommes-nous pas ainsi dans un cercle vicieux. Les soignants se plaignent de ne plus avoir suffisamment de temps à consacrer à leurs patients au milieu de tâches qui les éloignent du réel. La mise en lumière du désir mimétique de certains soignants n'est plus contrebalancée. Quid alors du temps consacré à la formation, avec pour objectif au minimum d'être compétent. Cet

éloignement du réel est ce qui conduit en partie à la déshumanisation du soin, ainsi à la déshumanisation de la relation, à une formation qui se désagrège.

Le compagnonnage va au-delà de la transmission d'un savoir, mais aussi d'une expérience de vie. Il est souvent relevé la différence entre instruction et éducation (Virat, 2015) et qui est particulièrement décriée à l'heure actuelle. Le compagnonnage n'est-il pas en fin de compte cette alliance justement équilibrée des deux ? Associer du sentiment, de l'amour compassionnel à l'instruction pour la rendre plus humaine est probablement un moteur de motivation et une base plus solide à l'apprentissage. Les difficultés rencontrées dans ce niveau de relation entre le soignant expert et le soignant apprenant, sont probablement aussi liées au modèle de santé biomédical qui est et reste toujours appliqué de nos jours. Dans l'axe idéologique de ce modèle décrié par Engel (1977), « *le médecin est un ingénieur du corps* », et il conviendrait de se tourner vers un modèle biopsychosocial pour lequel les « *facteurs biologiques, psychologiques et sociaux sont considérés comme participant au maintien de la santé ou au développement de la maladie* ». Berquin (2010) rappelle ainsi qu'il ne s'agit pas d'un modèle contre l'autre, mais que « *le modèle biopsychosocial est donc un élargissement du modèle biomédical* ». Il le complète et entraîne ainsi une modification de la relation thérapeutique en intégrant pleinement l'état et le ressenti du patient. Chaque modèle est à utiliser dans une proportionnalité qui est fonction de la situation. Cela correspond au modèle de santé complexe. Ce modèle est axé sur l'équilibre dynamique et évolutif entre l'individu et son environnement (Gatto, 1999). Une pareille modification dans la relation pédagogique entre le soignant expert et le soignant apprenant pourrait aussi être attendue. Elle pourrait à la fois découler de ce changement de modèle de santé, tout comme elle pourrait participer à l'entretenir. Ainsi, au lieu d'assister au cercle vicieux qui détériore les relations entre professionnels de santé sachants et apprenants, un nouvel équilibre pourrait peut-être être trouvé, voir conduire à un cercle vertueux.

2.3. LE FILM CHIRURGICAL : UN OUTIL POUR APPRENDRE

2.3.1. QUELS OUTILS POUR APPRENDRE ?

Le manque quantitatif de compagnonnage évoqué dans le chapitre précédent provient en partie de problématiques économiques et structurelles, systémiques. Ce manque ne va pas se résoudre rapidement et comme vu en Introduction, il faut pouvoir former plus. Pour répondre à ces enjeux, de nouveaux outils doivent être développés. L'outil doit être simple, peu onéreux, efficace, facilement accessible à travers le monde. Il doit intégrer les principes pédagogiques connus et validés.

Edgar Dale (1946) avançait qu'après quinze jours, on ne retenait que 10% de ce qu'on lisait et 90% de ce qu'on vivait., la mémorisation s'en trouve facilitée. Vivre une expérience permet ainsi de mieux l'assimiler. La simulation a sa place dans l'apprentissage car c'est justement une méthode qui permet de vivre une expérience. Certains professionnels, comme dans l'aviation, ont intégré depuis longtemps la simulation dans leur parcours de formation. Afin d'améliorer l'apprentissage et d'assurer une pratique chirurgicale plus sûre, la simulation médicale et chirurgicale doit se développer (Sturm et al., 2008) avec des paramètres plus difficiles à appréhender. Parmi les méthodes de simulation en médecine, on retrouve le jeu de rôle pour travailler sur l'empathie et la conduite diagnostic, ou des simulateurs de patients haute-fidélité (mannequins). Concernant la chirurgie les premiers bancs d'essais correspondent au travail sur des corps, animaux (cochons), humains (cadavres), et des simulateurs synthétiques basses fidélités (entraînement à la chirurgie coelioscopique) (Reznick & MacRae, 2009). Plus récemment les imprimantes 3D permettent de créer plus rapidement certains bancs d'essais. L'essor de la chirurgie robotique comme avec le Da Vinci Surgical System (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA, USA) a permis aussi d'utiliser le robot directement comme banc d'essais (MacCraith et al., 2019). Ces dernières simulations permettent d'améliorer la visualisation

grâce à leur approche stéréoscopique (ie, 3D, relief) (Falk et al., 2001) et permettent en entraînement spécifique à la chirurgie endoscopique. Dans le domaine neurochirurgical, le simulateur Neurotouch propose un retour haptique (retour de force) permettant de s'entraîner à des chirurgies crâniennes à ciel ouvert (NAJD Metrics) (Alotaibi et al., 2015). Les outils mentionnés sont très intéressants mais présentent des limites. Tout d'abord ils ne peuvent pas être appliqués à tous les types de chirurgie. Ensuite ils se concentrent sur les compétences manuelles (praxiques pour les meilleurs d'entre eux) sans aborder la connaissance nécessaire des différentes étapes composant une procédure chirurgicale. Enfin, ils ne prennent pas toujours en compte la réalité de la durée de réalisation de chaque étape. A l'heure actuelle, les moyens existants et toujours utilisés pour apprendre une technique chirurgicale étape après étape en dehors du bloc opératoire, sont les notes techniques appelées techniques opératoires et les vidéos principalement en 2D (Wurnig et al., 2003). La réalité virtuelle a montré depuis déjà les années 2000 des résultats encourageants (Seymour et al., 2002). Elle a depuis évolué passant d'une visualisation sur un écran plat à une visualisation à l'intérieur d'un casque (VR immersive). Cette dernière permettant en fait en quelque sorte de dématérialiser le banc d'essai en l'embarquant dans un environnement accessible via un casque.

2.3.2. LE FILM CHIRURGICAL

Afin de pouvoir cumuler un plus grand nombre d'expériences, de pouvoir décrire de nouvelles techniques, la vidéo est maintenant largement utilisée par les chirurgiens.

L'histoire de la vidéo médicale est intimement liée à celle du cinéma, et commence avec (Essex-Lopresti, 1998a). Le premier film médical a été publié en 1897 et correspondait à des radiographies animées : John McIntyre pris une série de radiographies du genou dans des degrés variés de flexion et d'extension, les colla les unes à la suite des autres et projeta le film ainsi

obtenu. Cela a permis d'aider les étudiants à comprendre les différents aspects d'un mouvement sur une articulation. La même année (1897) Paul Schister filmait des patients présentant une maladie de Parkinson et utilisait les vidéos ainsi produites lors de cours pour expliquer et illustrer les différents symptômes moteurs. La première vidéo chirurgicale a été filmée par Eugene L. Doyen (1898). Il utilisait les films pour enseigner mais aussi parce qu'il espérait ainsi préserver les techniques réalisées par les chirurgiens expérimentés (N.B., il réalisa quelques années plus tard avec un ingénieur une caméra stéréoscopique).

Durant la première moitié du XX^{ème} siècle, le scepticisme régnait quant à la valeur pédagogique des films. Ce n'est qu'ensuite qu'elle a commencé à être réellement exploitée de façon beaucoup plus large pour des raisons de santé publique. Ces films permettaient de fournir des explications médicales pour promouvoir des programmes de prévention contre des maladies, soulignant l'intérêt pédagogique d'un message transmis à grande échelle grâce à la vidéo. Durant la deuxième moitié du XX^{ème} siècle (Essex-Lopresti, 1998b) les universités britanniques ont commencé à développer un vaste programme pour collecter en une base de données les différents types de films médicaux à des fins d'études. Concernant la chirurgie, une grande montée en puissance s'est produite dans les années 1990 avec l'arrivée et le déploiement des chirurgies mini-invasives surtout endoscopiques. En effet, les spécialités qui ont le plus développé les enregistrements per-opératoires, jusqu'à en réaliser de façon routinière, sont en premier lieu celles utilisant des moyens de visualisation qui étaient connectés à des écrans : endoscopie et microscopie (Tolerton et al., 2012).

Au début du XXI^{ème} siècle, il est apparu clair que visionner un film médical représentait un moyen efficace d'apprendre des techniques chirurgicales (Hayden et al., 2015). De ce fait, les chirurgiens se sont vus encouragés à développer des banques de données de films pour les intégrer à leurs cours ou accompagner des publications scientifiques (Brunaud, 2013).

Initialement, les écrans étaient reliés à un enregistreur de cassettes vidéo (magnétoscope). Aujourd'hui il est désormais encore plus facile d'enregistrer, d'éditer et de sauvegarder des films à l'aide d'un ordinateur personnel (Magos et al., 2005). Les chirurgiens ont ensuite utilisé les endoscopes pour pouvoir aussi filmer des procédures dites à ciel ouvert (contrairement au mini-invasif) : ils pouvaient ainsi disposer de façon aseptique le matériel au plus près du champ opératoire pour enregistrer la procédure. Une autre possibilité qui a été développée était de positionner les caméras au sein des scialytiques (grandes lampes d'éclairage suspendues au plafond du bloc opératoire) qui illuminent le champ opératoire. Que ce soit en étant au plus près de l'action, ou plus à distance et la surplombant, le principal problème est la difficulté de percevoir les moindres gestes d'une procédure, car une main ou un outil peut obstruer le champ de vision. Ainsi, même si la miniaturisation des dispositifs d'enregistrement permet de focaliser sur la zone d'intérêt, il reste difficile de vivre cette procédure selon le point de vue de l'expert chirurgien. Le développement des technologies portatives permet désormais de filmer ces procédures en point de vue subjectif, à la première personne, c'est-à-dire celui du chirurgien principal. Le premier exemple de l'utilisation de ce type de technologie par des chirurgiens a été réalisé avec les Google Glass (Menlo Park, CA,) (Makhni et al., 2015), qui correspondent en fait à une caméra miniature fixée à une des branches d'une paire de lunettes, donnant une vue monoscopique. L'avantage est de suivre en quelque sorte l'angle d'inclinaison de la tête du chirurgien. Lee (Lee et al., 2015) a proposé quant à lui la mise en place d'un système stéréoscopique, c'est à dire comportant deux caméras, permettant ainsi d'obtenir un enregistrement 3D optique directement depuis la tête du chirurgien (caméras placées sur le front). Il a ainsi pu produire une première bibliothèque de vidéos 3D en point de vue à la première personne. La limitation essentielle était le poids du dispositif qui entraînait un inconfort. De notre côté nous avons dans un premier temps fixé ces caméras sur un casque que porte le chirurgien, permettant ainsi d'améliorer le confort. Nous avons ensuite développé un

autre dispositif correspondant à un bras venant au-dessus de la tête, fixé dans le dos du chirurgien à un harnais. Ceci permet d'améliorer à la fois le confort per-opératoire, mais aussi le confort de visualisation en réduisant les mouvements parasites de la tête (voir chapitre 3.5.1 « *Création d'un Environnement d'Apprentissage 3D en Réalité Virtuelle basé sur le film selon l'Angle de Vue de l'Opérateur* »).

2.3.3. LES FILMS EN MEDECINE ET L'APPRENTISSAGE

Les étudiants sont beaucoup plus enclins à apprendre en regardant des vidéos qu'en lisant des notes techniques (Piccoli et al., 2004). Il s'agit d'un premier atout pédagogique. Pour autant, l'intérêt d'une réalisation audio-visuelle comme programme pédagogique ne réside pas seulement dans son utilisation, mais déjà dans sa production. D'un point de vue de l'enseignement, créer un film permet de transmettre une connaissance. Mais éditer un film en lui-même peut représenter une première étape dans un processus d'apprentissage (Naumann et al., 2014) car il nécessite de comprendre les messages qui sont essentiels et doivent être passés. Dans un second temps, les films ainsi créés peuvent eux-mêmes servir à un programme d'apprentissage (Kwan et al., 2011). Bien utilisée, la production audio-visuelle est un processus vertueux dont les auteurs et les auditeurs tirent partis. Une autre possibilité d'utilisation de la vidéo est comme outil d'évaluation des apprenants (Bowles et al., 2014; Hu et al., 2013) car il a été démontré que c'est un outil fiable et efficace (correspondance des scores réalisés par rapport à l'expertise de la personne).

Concernant l'apport de la stéréoscopie (3D) versus les films monoscopiques (2D), il n'est pas clairement démontré de différence dans l'amélioration de l'apprentissage (De Boer et al., 2016; Mistry et al., 2013). Cela a comme bénéfice de comprendre les différences de profondeur, ce qui permet de mieux apprécier l'espace anatomique (Luursema et al., 2008) et les gestes qui y sont pratiqués. Les différences de résultats proviennent peut-être de groupes peu homogènes :

il se pourrait en effet que plus l'étudiant soit novice, plus il puisse avoir des difficultés à se projeter et à mentaliser la répartition spatiale de structures. L'autre particularité des films stéréoscopiques est que jusqu'à présent ils ont été projetés sur des écrans plats avec des lunettes pour percevoir cette profondeur qui peut être qualifié de « semi-immersion » (Kamińska et al., 2019). Cela donne la sensation de profondeur mais avec un certain éloignement par rapport au déroulé de l'action, un peu comme si l'on regardait au travers d'une fenêtre. Dans le cas de la réalité virtuelle, l'apport de la 3D permet aussi de donner encore plus de réalisme, de crédibilité, à la scène qui se déroule de sorte que l'utilisateur-apprenant ne se sente pas seulement spectateur, mais acteur : il est au centre de l'expérience, il vit l'expérience.

Aujourd'hui, les vidéos sont partagées sur des sites en ligne, professionnels ou grand public (Schmidt et al., 2016). L'un des problèmes résiduels est de pouvoir fournir à l'étudiant un angle de vue identique à celui de l'opérateur et de lui faire partager en même temps plusieurs informations.

3. LA REALITE VIRTUELLE EN PEDAGOGIE

3.1. ENVIRONNEMENTS D'APPRENTISSAGE EN REALITE VIRTUELLE

Il existe de nombreuses définitions de la réalité virtuelle (VR), en partie parce qu'il existe une large possibilité d'applications. De ce fait, les définitions sont dépendantes du contexte et des objectifs recherchés. Parmi les définitions courantes, on trouve :

- création d'un monde/environnement digital permettant en temps réel l'apprentissage d'un humain (Górski et al., 2017);
- environnement pour que des utilisateurs interagissent avec des stimuli artificiels de la manière la plus naturelle possible (Concannon et al., 2019)
- environnement artificiel 3D présenté d'une façon interactive à un utilisateur (Concannon et al., 2019; Kamińska et al., 2019).

Ces définitions de la réalité virtuelle apportent le cadre théorique à partir duquel les ingénieurs pédagogiques peuvent entrevoir les différents types d'environnements immersifs, artificiels et quasi-naturels, qu'ils pourraient créer pour les intégrer au parcours pédagogique. Par ailleurs, au sein même de certains de ces environnements VR, des moments narratifs précis ou des opportunités d'apprentissage actif peuvent être prédéterminés. Ceci permet d'éventuellement contrôler et investiguer comment l'utilisateur/apprenant interagit et navigue au sein de cet environnement. Ce point est particulièrement important car sans une volonté pédagogique sous-

jacente et une architecture en découlant, il serait impossible d'obtenir une approche basée sur les preuves, d'autant plus qu'il existe différents niveaux d'immersion que nous détaillerons après.

La réalité virtuelle permet de réaliser un apprentissage dans différentes modalités. Dessiner un environnement d'apprentissage en réalité virtuelle peut permettre d'expliquer des concepts difficiles d'une façon accessible – sans pour autant être simplifiée. Elle apporterait ainsi une meilleure compréhension. Mikropoulos et Natsis (2011) ont publié une revue de la littérature reprenant dix années de recherche en pédagogie et en réalité virtuelle. Il est à noter qu'il s'agissait très probablement en majorité d'études impliquant une réalité virtuelle sur écran plat, non immersive dans un casque. Le modèle théorique sur lequel se concentraient ces études était le constructivisme (Fowler, 2015). La plupart d'entre elles étaient empiriques et descriptives sans évaluation des étudiants. A partir de ces analyses, Dalgarno et Lee (2010) ont tenté de définir des caractéristiques majeures nécessaires à la construction d'un environnement 3D efficace pour l'apprentissage en réalité virtuelle. Selon eux, il en ressortait : l'illusion de la 3D (entendons là la profondeur), de légers changements physiques et temporels et un haut niveau d'interactivité. Ces auteurs ont commencé par discuter des possibilités technologiques et reportèrent les premiers bénéfices en termes de pédagogie. Ils définirent le concept du sentiment de présence de l'utilisateur : celui-ci se sent physiquement projeté dans un autre environnement. Ceci permet un engagement émotionnel. Cet engagement, le fait de ressentir le vécu d'une expérience, permet de mieux apprendre. Fowler (2015) reprit ces termes, en les comparant (*Schéma 1*) aux précédents travaux cités de Dalgarno et Lee ainsi que ceux effectués avec Mayes (Fowler & Mayes, 1999; Mayes & Fowler, 1999). Dalgarno et Lee parlaient de la potentialité d'une technologie appliquée à la pédagogie pour en étudier les bénéfices, Fowler et Mayes (1999) parlaient de la pédagogie pour décrire le meilleur environnement technologique.

En croisant les deux cadres théoriques Fowler (2015) définit les critères essentiels pour obtenir un environnement réussi d'apprentissage 3D en réalité virtuelle pour l'utilisateur/apprenant :

- 1) la présence (l'utilisateur ressent qu'il ou elle fait partie de l'environnement)
- 2) la co-présence (l'utilisateur ressent que d'autres personnes font partis de cet environnement)
- 3) l'interaction (l'utilisateur sent qu'il ou elle peut manipuler, explorer, ou devenir une partie de cet environnement).

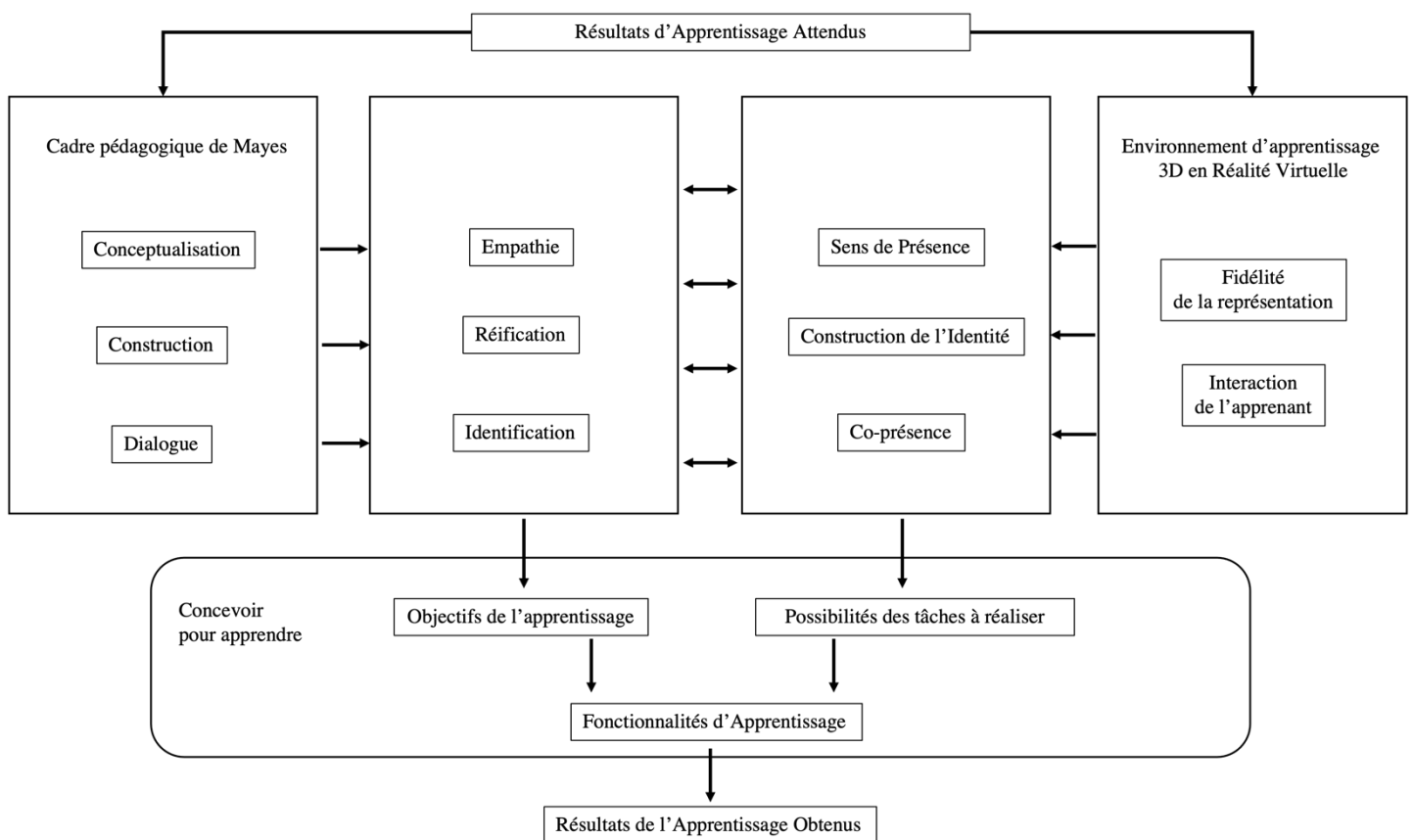


Schéma 1 (traduit à partir de Fowler, 2015) : Intégration des travaux de Fowler & Mayes – Dalgarno & Lee définissant les critères essentiels d'un environnement 3D d'apprentissage en réalité virtuelle. Le cadre théorique de Fowler & Mayes part des attentes pédagogiques à gauche / celui de Dalgarno & Lee des fonctionnalités technologiques. Les deux équipes se rassemblent au centre sur les caractéristiques communes.

Aujourd'hui la VR dite Immersive (avec casque) peut permettre de remplir ces critères pour obtenir un environnement optimisé pédagogiquement et efficace pour l'apprenant.

Du fait même de cette réalité virtuelle immersive, le sentiment de présence est désormais un acquis. Grâce au casque, l'utilisateur se trouve effectivement projeté dans un autre environnement, les images s'affichant devant ses yeux dépendant de l'endroit où il regarde. Le sentiment de co-présence peut être amené par un avatar dans le cadre de réalité virtuelle réalisée à partir d'images de synthèse, ou d'un protagoniste passant dans le champ de la caméra pour les environnements en réalité virtuelle créés à partir de vidéos. Enfin, la réification employée par Dalgarno et Lee correspond à la capacité d'avoir des interactions à l'intérieur même de ces environnements : la manipulation transforme donc les images en objet. En définitive, l'utilisateur se dit « Je suis dans tel environnement / D'autres personnes en font partie / mes actions ont des répercussions ». Fowler souligne bien ainsi qu'il ne s'agit pas seulement de construire un environnement 3D en réalité virtuelle pour permettre un apprentissage, mais que celui-ci doit être pensé en amont pour promouvoir l'apprentissage, respectant ces principes (C. Fowler, 2015). Il présente une structuration en trois étapes pour apprendre. Celle-ci comprend en premier lieu les explications, puis la construction, enfin la discussion (Mayes & Fowler, 1999). Il propose en effet que les différentes théories concernant la réalité virtuelle et la pédagogie soient combinées pour créer l'environnement d'apprentissage en réalité virtuelle le plus efficace possible. Aujourd'hui La réalité virtuelle n'est plus statique, elle est évolutive et immersive. Elle peut finalement permettre comme le pressentait Daniel Mellet d'Huart « rendant l'apprentissage proche d'un apprentissage concret dans un environnement réel » (d'Huart, 2001).

Pour Concannon (2019) les niveaux d'immersion sont directement liés à la possibilité qu'a l'utilisateur/apprenant d'expérimenter certains aspects de l'environnement VR qui faciliteront l'obtention d'une expérience sensorielle simulée du monde réel. De plus, ces niveaux

d'immersion expérimentés par l'utilisateur/apprenant affecte comment il ressent sa "présence active" au sein de l'expérience VR (Górski et al., 2017). Pour Kaminska (2019), le "niveau" d'immersion que l'utilisateur expérimente doit être adapté en fonction des objectifs pédagogiques :

- le plus faible niveau pour l'acquisition de connaissances (objectif à court terme)
- un niveau modéré pour l'acquisition de compétences (apprentissage soutenu et maintien des compétences)
- un niveau élevé pour la résolution de problèmes (apprentissage appliqué, (ré)organisation contextuelle, et généralisation des compétences apprises dans un environnement vers un autre).

Au-delà de la dépendance à l'immersion du processus d'apprentissage, une caractéristique toute aussi importante du design pédagogique est le niveau d'interactivité qui correspond aux niveaux d'actions (ou d'inaction) donnés à l'utilisateur/apprenant et liés à la possibilité de manipulation de l'environnement correspondante (Concannon et al., 2019). Pour parvenir à ces interactions, les dispositifs de contrôle incluent des manettes, des gants, ou des cellules photosensibles qui permettent à l'utilisateur de voir et utiliser ses mains au sein de l'environnement VR (Concannon et al., 2019; Górski et al., 2017). Certains applicatifs VR utilisent aussi le retour haptique (sensation réceptive tactile ou vibration faisant appel à la proprioception) ou même la résistance motrice pour simuler un sens supplémentaire. Le niveau de contrôle donné à l'utilisateur influence directement le réalisme de l'expérience et la sensation de présence. Le fait d'être le plus proche possible de la réalité : que *"les actions de l'utilisateur, ses sens, et sa possibilité de mettre en œuvre sa pensée... ressemble à ce qu'il pourrait expérimenter en étant dans la même situation... dans le monde réel"* (Concannon et al., 2019) correspond à la fidélité qui influe sur le potentiel de croire en le réalisme de l'environnement VR. Selon Concannon (2019) il est impératif que la fidélité physique, fonctionnelle, et psychologique de ces

environnements VR soient examinées distinctement pour décider là où le design pédagogique et le contenu de formation doivent apporter le plus d'interaction afin d'obtenir un résultat d'apprentissage réaliste et optimal. Cela permettra à l'utilisateur/apprenant d'avoir la perception d'un environnement VR de haute-fidélité qui simulerait un monde réel d'apprentissage et permettrait la généralisation des compétences au réel. Malgré tout, décider d'utiliser un tel design pédagogique en VR doit être soumis à la prudence car il peut devenir très onéreux de chercher à recréer un environnement qui correspondrait en simulation à 100% des événements vécus dans le monde réel. Sans compter que ce ne serait pas toujours pratique à mettre en œuvre. Enfin, et surtout, la conception d'un tel environnement n'est pas forcément requise pour atteindre les objectifs d'apprentissage et de formation voulus.

3.2. ASPECTS COGNITIFS DE L'APPRENTISSAGE EN REALITE VIRTUELLE

3.2.1. LE SENTIMENT DE PRESENCE EN REALITE VIRTUELLE

Nous avons mentionné dans le chapitre précédent le sentiment de présence comme étant un facteur clé de succès dans l'élaboration d'un environnement 3D d'apprentissage en réalité virtuelle. Ce sentiment peut-il être caractérisable ? Il est à noter que la plupart des articles scientifiques qui s'y sont intéressés datent d'avant l'avènement de la réalité virtuelle immersive, avec casque. Il s'agissait dans le plus haut degré d'immersion de visio-casques particulièrement inconfortables à l'époque (lourds et laissant peu de capacité de mobilité), altérant les résultats. L'immersion est une donnée objective, la présence est subjective. Dans un remarquable travail de thèse, Bouvier en 2009 (Bouvier, 2009) précise les différents courants récents (non philosophiques) qui ont tenté de déterminer les facteurs concourants à ce sentiment de présence.

Il relève 3 approches : technologique, psychologique, écologique. La technologie permet de sentir que l'on « est là » selon Reeves et Nass (1996) . C'est l'outil qui apporte cette capacité de se sentir ailleurs que là où on est physiquement, une projection de soi dans un autre environnement. On pourrait dire que c'est une approche qualitative tournée vers la technologie : le hardware (casque et ordinateur) est mis en cause. Lombard et Ditton (1997) en parlent comme une illusion perceptive de non médiation : ce n'est pas une visualisation mais le vécu d'une expérience. Pour faire simple, il s'agirait du contenant. L'approche psychologique relevée par Biocca et Levy (1995) est l'émotion qui est engendrée : la narration de l'expérience véhiculée par le logiciel a un rôle fondamental. Simplifions en disant que c'est le contenu. Enfin Zahorik et Jenison (1998) défendent l'approche écologique : la capacité d'interaction, il ne s'agit pas d'« être là » mais de « faire là ». Ce serait alors l'interaction que peut avoir l'utilisateur sur le contenu narratif du logiciel au travers du prisme qu'est le contenant hardware. Les partisans de l'approche technologique critiquent le fait de rendre confus ces définitions : présence, émotion, engagement. On peut tenter une définition rassemblant, imbriquant ces différentes approches. En fait, peut-être faudrait-il plutôt les penser comme un continuum. Plus la technologie est pointue, plus vite on se trouvera en immersion, plus vite on pourra ressentir ce sentiment de présence. Si la narration n'est pas adaptée, s'il ne se passe rien, que l'environnement est figé, combien de temps dure ce sentiment de présence ? Qu'en est-il dans une expérience contemplative ? Nous rappelons ici, que ces réflexions ont été conduites sur des systèmes qui n'étaient pas particulièrement immersifs, ou lorsqu'ils l'étaient comme les premiers visio-casques, l'environnement externe physique était perçu par l'utilisateur et de ce fait il ne pouvait se sentir pleinement, projeté, dans un autre environnement. De plus, les capacités de calcul de l'époque ne permettaient pas de rendre cet environnement complètement crédible pour notre cerveau. Cette crédibilité, fidélité, est une des composantes essentielles aux yeux de Bouvier (2009). A l'heure actuelle, on peut atteindre un haut niveau de crédibilité. On peut se situer

réellement au milieu d'une photographie, et cette photographie peut en elle-même emporter une narration même si rien ne s'y passe. C'est peut-être le temps qui fera diminuer plus rapidement le sentiment de présence. Est-ce que si l'on s'habitue à une nouvelle technologie le sentiment de présence diminue ? Prenons l'exemple d'un grand pas technologique, immersif et à fort impact émotionnel. Il est dit que lors de la première projection des frères Lumière sur « l'arrivée d'un train en gare de la Ciotat », (1896) les gens ont quitté la salle effrayés. Désormais, les habitués du cinéma n'auraient plus la même réaction à l'heure actuelle. Leur cerveau les rappelle à l'ordre sous le joug d'une émotion qui n'entraîne pas une réponse comportementale aussi violente que la fuite. Pour autant cette réponse est inhibée mais bien présente, que ce soit sous l'effet de surprise de cris, ou de fermeture des yeux. Au-delà de l'environnement qui doit être crédible, la narration doit l'être. Et elle doit être adaptée aux objectifs de l'expérience. Enfin, qu'en est-il de l'interaction ? Il s'agirait d'apporter un niveau de plus dans la durée du sentiment de présence qui peut s'imbriquer avec la narration et qui elle aussi doit dépendre des objectifs liés à l'expérience (*voir chapitre 5.4 - Incorporer la VR dans un programme de formation*).

Les différents auteurs [Biocca et Levy (1995), Reeves et Nass (1996), Lombard et Ditton (1997), Zahorik et Jenison (1998), Bouvier (2009)] définissent plusieurs composantes à la présence : présence physique, sociale, de soi, environnementale, empruntant pour chacun de ces termes des définitions différentes et rapportées aux différentes approches technologiques, psychologiques et environnementales. Il est important de mentionner que l'un des facteurs de qualité de cette présence est lorsque l'expérience est égocentrée selon Bouvier (2009) autrement dit une expérience centrée utilisateur. C'est ce sur quoi nous allons insister en développant un point de vue à la première personne sur l'écran principal augmenté dans le reste de l'environnement virtuel de données additionnelles : l'utilisateur est au centre de cette chambre d'apprentissage. Le travail de Fowler (2015) que nous avons cité plus haut, ne s'entend pas

uniquement sur le principe d'un environnement virtuel, mais d'un environnement virtuel 3D spécialisé pour l'apprentissage, c'est son objectif. La présence est technologique, de par l'immersion. Il s'agit de la présence physique, difficilement dissociable de la présence de soi. La co-présence est la présence sociale : d'autres personnes (réelles ou non) sont dans cet environnement. L'interaction est la présence environnementale : je peux agir sur cet environnement.

Finalement l'on comprend bien que la clef de la réalité virtuelle est ce sentiment de présence. Sentiment de présence qui peut être amélioré en ajoutant un niveau de co-présence et optimisé lorsqu'il est centré utilisateur. Ce sentiment est maintenu par une narration adaptée avec des objectifs ici pédagogiques, permettant un engagement émotionnel, qui avec des interactions permet une implication. Tu me dis, j'oublie, tu m'enseignes, je me souviens, tu m'impliques, j'apprends (attribué à Benjamin Franklin). Alors que dans certains moments dans la vraie vie l'apprenant passe son temps à assister, sans ne rien faire, ni voir, le niveau d'implication est limité et finalement, le sentiment de présence dans la réalité même peut se voir être mis à mal.

3.2.2. L'IMPACT DE LA REALITE VIRTUELLE SUR LA CHARGE COGNITIVE

La charge cognitive envisagée par les travaux de Sweller (1985; 1994) correspond au niveau « d'énergie mentale » qui permet de procéder à l'intégration d'un certain nombre d'informations données (Cooper, 1990). Elle se décomposerait en 3 grandes charges cognitives et correspondrait ainsi à « l'allocation des ressources de la mémoire de travail » entre une charge intrinsèque (la complexité de l'objet d'apprentissage), extrinsèque (le design instructionnel, le format utilisé pour l'enseigner), essentielle (les ressources et capacités propres à l'apprenant à acquérir des connaissances, comprenant aussi sa motivation et intérêt) (Sweller, 2010).

De façon remarquable la VR peut améliorer la motivation et l'intérêt, ce qui en fait une technologie attractive pour l'intégration de contenu éducatif. Ce contenu est rendu mémorable de par son caractère immersif. Toutefois, comme pour toute tâche, l'envergure de l'attention et de la charge cognitive peut être limitée, ou inversement, limite la quantité d'informations qui peut être reçue à un moment donné (Barrouillet et al., 2007; Feldon, 2007; Oviatt, 2006). Contrairement à l'environnement réel où l'être humain peut être facilement distrait par des événements, des actions, des objets ou des mouvements passant dans son champ de vision, les casques VR bloquent ces distractions périphériques ou de l'arrière-plan et de fait augmentent l'attention de l'apprenant au premier plan, dans l'environnement VR. L'attention à l'intérieur de l'environnement VR provient aussi de sa nouveauté (Roussou, 2000). Du fait de ces caractéristiques inhérentes à la VR, on peut donc aisément imaginer que cela permet de diminuer la charge mentale pour maintenir l'attention. La charge cognitive ainsi libérée peut alors être concentrée sur l'acquisition des compétences. Ceci peut permettre alors d'augmenter ce volume d'acquisition et optimiser la rétention de l'apprentissage (Andersen et al., 2016). La VR pourrait ainsi faciliter l'apprentissage, la mémorisation et les résultats post-apprentissage. Nous venons de voir que la VR en elle-même, d'un point de vue physique, permettrait de réduire la charge mentale. De plus, la VR permet de faciliter la projection à la première personne, et la première personne en elle-même est aussi supposée diminuer la charge cognitive pour augmenter la capacité d'apprentissage". L'apprentissage selon le point de vue à la première personne a prouvé l'amélioration de l'apprentissage de nouveaux gestes. Les neurones miroirs sont habituellement activés lorsque l'apprenant voit quelqu'un d'autre réaliser une procédure. Si cette procédure est vue à la première personne, la charge cognitive est moins importante, et les apprenants sont plus à même de reproduire la procédure" (Fiorella, Van Gog, et al., 2017). Ce dernier point est crucial puisque les neurones miroirs sont la base

neurobiologique/neuropsychologique pour l'empathie (Iacoboni, 2009), le renforcement vis-à-vis d'autrui (Bandura, Ross & Ross, 1963).

Fiorella et al. (2017) ont comparé l'apprentissage d'une procédure (assemblage d'un circuit électronique) visualisé en Point de Vue à la Première Personne, First Person View (FPV), à la même procédure visualisée en point de vue opposé (c'est à dire non FPV, une perspective opposée pour reproduire en miroir la tâche réalisée par une personne). Chaque groupe devait ensuite réaliser la procédure. Ils ont relevé une diminution des erreurs de l'ordre de 50% pour le groupe qui a appris en FPV. Ces résultats suggèrent que l'apprentissage FPV augmente l'acquisition de compétences par l'apprenant, la compréhension et les comportements à appliquer. Ces résultats pourraient être uniquement expliqués par le fait que les neurones miroirs, fonctionnent de façon plus optimale en réduisant la charge cognitive (Van Gog et al., 2008).

Ce constat est particulièrement pertinent dans ce contexte de la VR pour l'apprentissage. Allier la VR (pour laquelle il a été montré des réponses cérébrales liées à son utilisation) et le point de vue à la première personne (qui lui aussi a montré ses effets), permettrait à l'apprenant de vivre pleinement une expérience à la première personne et d'optimiser la diminution de la charge cognitive pour améliorer l'apprentissage.

3.2.3. AUGMENTATION DE LA MOTIVATION ET DE L'INTERET DES APPRENANTS

L'utilisation d'environnements VR dans les cursus primaires et secondaires a prouvé une augmentation de l'intérêt et de la motivation au cours d'un apprentissage (Kaminska et al., 2019). Les travaux étudiant l'utilisation de la technologie VR dans différents contextes pédagogiques soutiennent le fait que les apprenants sont plus engagés et rapportent mieux

comprendre l'enseignement qui leur est prodigué. Ces bénéfices peuvent venir d'une diminution des "images ou pensées non reliées à la tâche en cours", c'est à dire, une amélioration de l'attention (Harrington et al. 2018) du fait du caractère immersif de l'expérience VR (étude faite sur un environnement vidéo 360).

Ekstrand (2018) stipule que la VR peut permettre de prévenir la "neurophobie" (la crainte de l'apprentissage de la neuro-anatomie). Pour se faire, il a utilisé un environnement VR en images de synthèse pour présenter des reconstructions neuro-anatomiques auprès de 175 étudiants. 94% d'entre eux signalaient désirer intégrer la VR dans leur apprentissage parce que ça les aidait à améliorer la compréhension du cours et ainsi leur permettait de se "désensibiliser" vis-à-vis de la crainte de se lancer dans un tel apprentissage. Le fait d'avoir pu y accéder autant de fois qu'ils le souhaitent leur permettait aussi d'auto-réguler leur apprentissage. Ainsi la VR peut permettre d'augmenter la motivation et l'engagement même pour des enseignements qui d'habitude génèrent une forte aversion ou une anxiété. Le sujet de la Neurophobie n'est pas anodin car il a été décrit comme une problématique émergente à l'entrée des cursus médicaux et biologiques (Neuwirth et al., 2018).

3.2.4 AMELIORATION DE L'APPRENTISSAGE DE COMPETENCES, AUGMENTATION DE LA RETENTION MNESIQUE ET AMELIORATION DES PERFORMANCES AU TRAVERS DE L'ENVIRONNEMENT VR.

Concernant les connaissances théoriques et l'acquisition de compétences en santé, nous venons de voir qu'il est possible par exemple d'intégrer dans l'environnement VR une reconstruction en 3D (comme un organe en images de synthèse) pour permettre une compréhension conceptuelle. L'utilisateur peut le voir face à soi, le mobiliser, le tourner, et même littéralement entrer à l'intérieur. De cette façon, l'utilisateur peut explorer l'organe sous tous les angles et

avoir une meilleure compréhension des différentes couches de tissus et des relations entre organes. Cette expérience permet à l'apprenant d'avoir accès à de nouvelles perspectives qui seraient impossible sans la VR. Cela ouvre un nombre de possibilités pédagogiques incroyables. Ainsi la VR n'est pas seulement un outil divertissant pour apprendre de nouvelles compétences, mais elle améliore réellement le champ de vision des apprenants (proprioception VR induite). Cette approche permet d'apporter de nouvelles solutions à des problèmes d'apprentissage conventionnels en offrant une meilleure compréhension. C'est peut-être là le plus grand intérêt de la VR : offrir de nouvelles perspectives au sens premier du terme.

Chao et al. (2017) ont montré que la VR non immersive peut conduire à une amélioration de la performance dans la reproduction de tâches complexes en comparaison à des manuels techniques ou des films multimédias (moins d'erreur, temps réduit pour réaliser une tâche). Pour des tâches simples, il n'y avait par contre pas de différences observées entre la VR non-immersive et des films multimédias d'un point de vue du nombre des erreurs, mais la VR non-immersive accélère la vitesse de réalisation des tâches (Chao et al., 2017).

Une autre étude par Smith et al. (2018) avait pour but de comparer les images de synthèses diffusées sur casque VR ou écran plat, et des notes techniques écrites, après avoir visionné une vidéo. Ils ont alors mesuré la performance de la réalisation de la procédure sur mannequin et mesuré la durée de réalisation. Les résultats ont montré qu'ils n'ont pas retrouvé de différences à court ou moyen terme (6 mois) entre les différents groupes en comparaison avec la VR immersive. De façon surprenante, à moyen terme, le groupe non immersif réalisait plus rapidement la procédure par rapport au groupe de base mais sans différence avec les autres groupes. De ce fait, ils ont conclu que la VR était au moins aussi bien que la formation traditionnelle mais qu'elle ne la surpassait pas.

3.3. UTILISATION DE LA REALITE VIRTUELLE DANS L'APPRENTISSAGE DE LA CHIRURGIE

Dans le domaine chirurgical, les études évaluant les bénéfices de simulations basées sur la réalité virtuelle (avant qu'elle ne devienne « immersive » avec casque) présentaient déjà des résultats encourageants (Seymour et al., 2002).

L'apprentissage de la chirurgie commence avec l'étude de l'Anatomie. La possibilité offerte par la réalité virtuelle d'avoir un « voyage dans le corps », de faire pivoter et de « rentrer » dans un organe en 3D est intéressant pour devenir familier avec cet environnement. Il ne s'agit pas seulement de rendre cet apprentissage amusant mais d'avoir une meilleure compréhension puisqu'il est possible de l'analyser sous tous les angles.

Nous avons mentionné plus haut le travail d'Ekstrand (2018) qui a étudié l'apprentissage de la Neuro-anatomie avec un modèle en VR sur 175 étudiants : ils ont montré qu'il n'y avait pas de différence d'efficacité entre la VR et les manuels. Pour l'anatomie cardiaque Maresky (2018) a montré une amélioration de résultats des utilisateurs après avoir appris en VR. Ainsi la VR aide effectivement les étudiants à avoir une meilleure compréhension de l'organe, de la relation entre sa structure et ses fonctions, ses connexions spatiales et les interfaces biologiques. La VR permet une compréhension globale rapide, en quelques minutes contrairement à la lecture d'un manuel qui nécessiterait la lecture de centaines de pages au cours de semaines ou mois pour acquérir le même niveau de compréhension. Un autre aspect important des environnements VR dans les domaines biomédicaux est qu'elle permet de répondre à une véritable problématique de ressource. La plupart des dissections ou des entraînements à une technique chirurgicale sont réalisés dans un temps contraint et dépendent de la disponibilité de l'organe au laboratoire d'anatomie. Ces cours d'anatomie regroupent un grand nombre d'étudiants qui doivent d'abord suivre les instructions (et qui pour les plus jeunes n'ont peu ou pas d'expériences). Il en résulte

un manque d'optimisation du temps. En effet, très souvent les étudiants se retrouvent à passer plus de temps à regarder et essayer de voir la procédure qu'à la reproduire eux-mêmes, ce qui diminue l'acquisition des compétences et le temps consacré à l'application des concepts appris. A l'aide de la VR, ces fossés d'apprentissage peuvent être comblés. L'hypothèse est que la VR permet probablement de faciliter la compréhension des questions d'ordre théorique en manipulant les structures et comprendre comment elles fonctionnent grâce à une approche constructiviste. Elle permet aussi d'acquérir un apprentissage pratique en étant capable de littéralement "vivre une expérience d'apprentissage" et ses différentes étapes. En ayant tout ce dont ils ont besoin pour comprendre le contenu d'un cours, les utilisateurs/apprenants développent ainsi une compréhension, une conscience complète, ce qui doit favoriser l'acquisition des compétences et la rétention d'informations pour la généralisation et l'application de l'apprentissage au réel.

Évaluer le rôle et l'utilisation de la réalité virtuelle est crucial. De là à dire que cela peut remplacer un enseignement dit classique serait probablement une erreur. Il s'agit de modifier l'enseignement dit classique en lui donnant de nouveaux outils pour l'optimiser et permettre d'aller plus profondément dans l'apprentissage. Si cela permet de mieux comprendre, plus rapidement, alors l'étudiant peut peut-être gagner du temps dans un apprentissage incluant la réalité virtuelle comparé à un apprentissage statique classique. D'un autre côté, cette optimisation permettrait aussi de pouvoir former plus d'étudiants.

La place, temporelle, de la réalité virtuelle dans le parcours de formation doit ainsi être affinée. Dans une étude récente, Andersen et al. (2018), a montré que l'utilisation de la réalité virtuelle avant la participation à un programme de formation augmentait les bénéfices du cours consécutif, permettant ainsi d'obtenir de meilleurs résultats. Ces auteurs ont aussi montré que plus les étudiants s'étaient entraînés en VR, plus ils avaient de meilleurs résultats, en

comparaison avec ceux qui ne l'avaient utilisée qu'une seule fois. Cela suggère qu'une exposition répétée à la VR peut avoir des avantages éducationnels sur l'acquisition des compétences et la rétention mnésique.

Sheik-Ali et al. (2019) mentionnaient que la vitesse de réalisation d'une procédure chirurgicale est un critère important mais que le plus important dans le cadre de l'apprentissage est la rapidité de la vitesse d'acquisition de la technique : d'être plus rapidement compétent. Ils concluaient que beaucoup d'études avaient mis en évidence une relation linéaire positive entre l'utilisation de la VR/AR de façon générale dans la formation en chirurgie et dans l'acquisition de compétences chirurgicales (Sheik-Ali et al., 2019).

La grande problématique dans l'analyse de cette littérature est la variabilité des supports utilisés que ce soit pour la réalité virtuelle en elle-même - type de contenu, type de matériel informatique utilisé, pour les groupes contrôles – type de contenu et type de matériel utilisé, et les objectifs pédagogiques. Dans une revue récente, et pour autant peut-être déjà obsolète, Concannon et al. (2019) rapportaient parfois seulement une preuve de concept, ou bien une amélioration de la rétention, et parfois une amélioration des performances. Ces études sont difficilement comparables entre elles. Une notion est par contre retrouvée dans plusieurs travaux concernant la réalité virtuelle étudiant pourtant des objectifs pédagogiques différents, avec des types d'environnements différents (Vidéos 360 (Harrington et al., 2018), Images de Synthèse (Maresky et al., 2018), Video 180 FPV (Ros et al., 2017a, 2017b)). Les apprenants sont plus engagés et rapportent qu'ils comprennent mieux. Cela peut venir comme nous l'avons vu du fait d'une diminution des « images mentales ou pensées non liées à la tâche en cours » (Harrington et al., 2018) , en clair, d'une concentration plus importante. En effet, du fait d'être projeté dans un autre environnement, dédié et pensé pour l'apprentissage, l'apprenant serait plus à même de se focaliser sur la tâche en cours. D'où la grande importance de l'« instructional design » ou « conception pédagogique ».

La chirurgie ne se limite pas à l'apprentissage de l'architecture d'un organe, de la façon de l'aborder et de l'opérer mais aussi à la relation avec le patient qui désormais prend une place progressivement plus importante dans l'enseignement (Burney, 2017). Vivre une expérience en réalité virtuelle permet une meilleure compréhension d'une situation, d'un contexte. Une autre approche est celle de l'empathie. La réalité virtuelle peut aider à comprendre la perception d'un autre, et de ce fait, l'expérience vécue par un patient. Dyer et al. (2018) se sont intéressés à la possibilité de ressentir ce qu'une personne plus âgée peut ressentir. L'expérience place l'apprenant dans le contexte physique et émotionnel d'une tierce personne. Le contexte physique est apporté par les images projetées, et la position, l'angle de vue qui est donné à l'utilisateur-apprenant. La narration peut être alimentée d'effets de post-production audiovisuelle pour augmenter le sentiment de présence. Ces effets peuvent simuler un ressenti physique, auditif et visuel, de l'utilisateur-apprenant qui se glisse ainsi dans la peau d'une personne étant dans ce contexte. L'augmentation de bruits de battement de cœur par exemple pour souligner un moment de stress, une déformation visuelle pour simuler une atteinte de la vue, un travail d'étalonnage sur le contraste et les couleurs pouvant permettre de jouer sur le niveau de thymie (couleurs chaudes pour l'exaltation, grises pour la tristesse). La narration peut aussi être complétée d'un jeu d'acteurs qui va permettre de développer le sens de co-présence. Tout ceci peut permettre de faire vivre à l'utilisateur-apprenant le ressenti d'une personne évoluant dans un contexte différent du sien et ainsi de développer l'empathie. L'approche empathique aide les étudiants à mieux comprendre un patient dans sa globalité.

Ainsi les avantages pédagogiques de la VR peuvent être appliqués à l'apprentissage de la chirurgie : meilleure concentration, meilleure compréhension, diminution de la charge cognitive, amélioration de la rétention mnésique et de la restitution des connaissances pour les généraliser au monde réel.

3.4. LES QUESTIONS DE RECHERCHE

Il existe deux grandes méthodes de création de contenu en Réalité Virtuelle : d'un côté les Images de synthèse avec comme principaux écueils le coût de développement pour obtenir une expérience réaliste et le coût d'investissement matériel ; et les vidéos à 360 degrés avec comme principal écueil une position qui ne favorise pas l'apprentissage pratique. Une autre voie serait-elle intéressante ? Est-ce que combiner le point de vue filmé à la première personne à une application en réalité virtuelle serait réalisable facilement ? Cela intéresserait-il les professionnels de santé ? Leur permettrait-il de mieux comprendre ? Si oui, on pourrait alors se demander quel serait l'apport pédagogique d'un tel outil. Favoriserait-il l'apprentissage en complément du matériel pédagogique habituellement utilisé ? Aiderait-il à mieux répondre à des questions concernant des connaissances d'ordre pratique, voire théorique ? L'importance capitale que revêt l'utilisation d'un outil pédagogique dans le cadre de l'apprentissage d'un geste technique est la facilité qu'il peut apporter quant à la généralisation au monde réel de la procédure apprise. Cet outil permet-il donc cette généralisation ? Apporte-t-il un plus en termes de comportement, d'erreurs, de vitesse d'apprentissage. Enfin, si tel est le cas, peut-il être déployé à grande échelle pour répondre à des besoins de formation pratique ?

L'utilisation d'un tutoriel immersif améliore-t-il l'apprentissage de la chirurgie ?

C'est à l'ensemble de ces questions que nous tentons de répondre par ce travail de recherche qui correspond à une thèse réalisée sur travaux. Nous allons décrire ce nouvel outil et les différents résultats que nous avons constatés grâce aux différentes études prospectives réalisées.

3.5. PROPOSITION D'UN NOUVEL OUTIL : LE TUTORIEL IMMERSIF EN REALITE VIRTUELLE COMME OUTIL D'APPRENTISSAGE EXPERIENTIEL

Étude Publiée (Annexe 1) :

De La Réalité Virtuelle Immersive

Ros M., Ros S.

E-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie 2017

3.5.1. CREATION D'UN ENVIRONNEMENT D'APPRENTISSAGE 3D EN REALITE VIRTUELLE BASE SUR LE FILM SELON L'ANGLE DE VUE DE L'OPERATEUR

Nous avons développé un procédé pour répondre aux besoins de formation en utilisant la réalité virtuelle immersive (Ros et al., 2017a).

Il s'agit tout d'abord d'obtenir un film stéréoscopique (relief, 3D) selon l'angle de vue de l'opérateur principal. Nous avons développé un support pour deux caméras (afin d'enregistrer en 3D) qui est porté par le chirurgien au cours de l'intervention. Initialement sous forme de casque (*Figure 3*), nous l'avons peu à peu intégré à un autre système (Ros et al., 2020c) correspondant à un harnais muni d'un bras et d'un système de stabilisation (*Figure 4*). La distance entre les deux lentilles est en moyenne de 6 cm, correspondant à la distance interpupillaire. Une connexion USB est réalisée entre les caméras et une batterie externe portée dans un sac au niveau du dos de l'opérateur afin de pouvoir filmer pendant plusieurs heures. Selon les cas nous avons ajouté un système de LED permettant d'avoir une luminosité standardisée au niveau du champ opératoire.

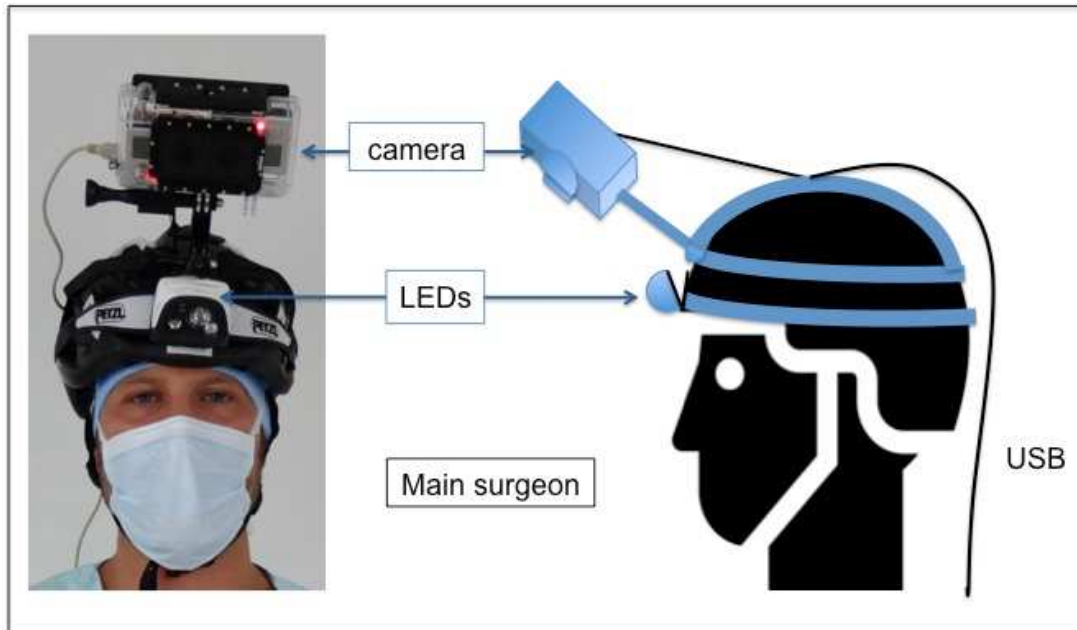


Fig. 3 : Premier dispositif de captation.

Vue de face (photo) et latérale (image) du dispositif de captation : une caméra stéréoscopique (assemblage de deux caméras côte à côte) et deux LEDs placées sur un casque. Le Casque est porté par le chirurgien au cours de la procédure. Les caméras sont inclinées pour filmer le point de vue du chirurgien. (Ros et al. 2017b)



Fig. 4 : évolution du dispositif de captation

Le professionnel de santé porte un harnais. Celui-ci supporte un bras (flèche noire) fixé dans le dos et qui vient se positionner au-dessus de sa tête. Au bout de ce bras se trouve un stabilisateur maintenant un boîtier avec les deux caméras (flèche blanche) pour venir filmer le point de vue à la première personne. (Ros et al. 2020c).

Le retour vidéo des caméras était assuré en wifi sur une tablette et permettait de les incliner pour correspondre exactement à l'angle de vue de l'opérateur. Les vidéos provenant des deux caméras sont alors transférées depuis les cartes SD vers un ordinateur. Les fichiers .mp4 sont synchronisés et assemblés côte à côte (side-by-side) pour obtenir le film stéréoscopique à proprement parler (*Figure 5*).



Fig. 5 : *Vue des deux lentilles à l'intérieur d'un casque de réalité virtuelle. Une image légèrement décalée est projetée sur chaque lentille, une pour chaque œil, permettant d'obtenir une vision dite stéréoscopique, 3D. Le film initial est enregistré à l'aide de deux caméras.*

Ce film ainsi obtenu est alors édité, découpé en chapitres en fonction des différents temps opératoires.

Vient ensuite la création de l'application dite tutoriel immersif. Il s'agit d'un environnement 3D en réalité virtuelle dont l'architecture permet une narration pédagogique. L'utilisateur lance l'application dans un masque de réalité virtuelle afin de vivre l'expérience immersive. Lorsque l'utilisateur met le masque de réalité virtuelle devant les yeux, il est immergé dans une chambre

d'apprentissage. Il fait face au lecteur de film en réalité virtuelle qui est un écran de 120° sur 90° sur lequel est projeté le film stéréoscopique. L'utilisateur a accès à un angle de vue unique : il voit en trois dimensions au travers des yeux de l'opérateur principal. En tournant la tête, il a accès sur les côtés de l'écran à des données pédagogiques additionnelles pour comprendre l'acte en cours : différentes coupes d'imageries médicales, présentation du cas cliniques, objet anatomique en trois dimensions (*Figure 6*).

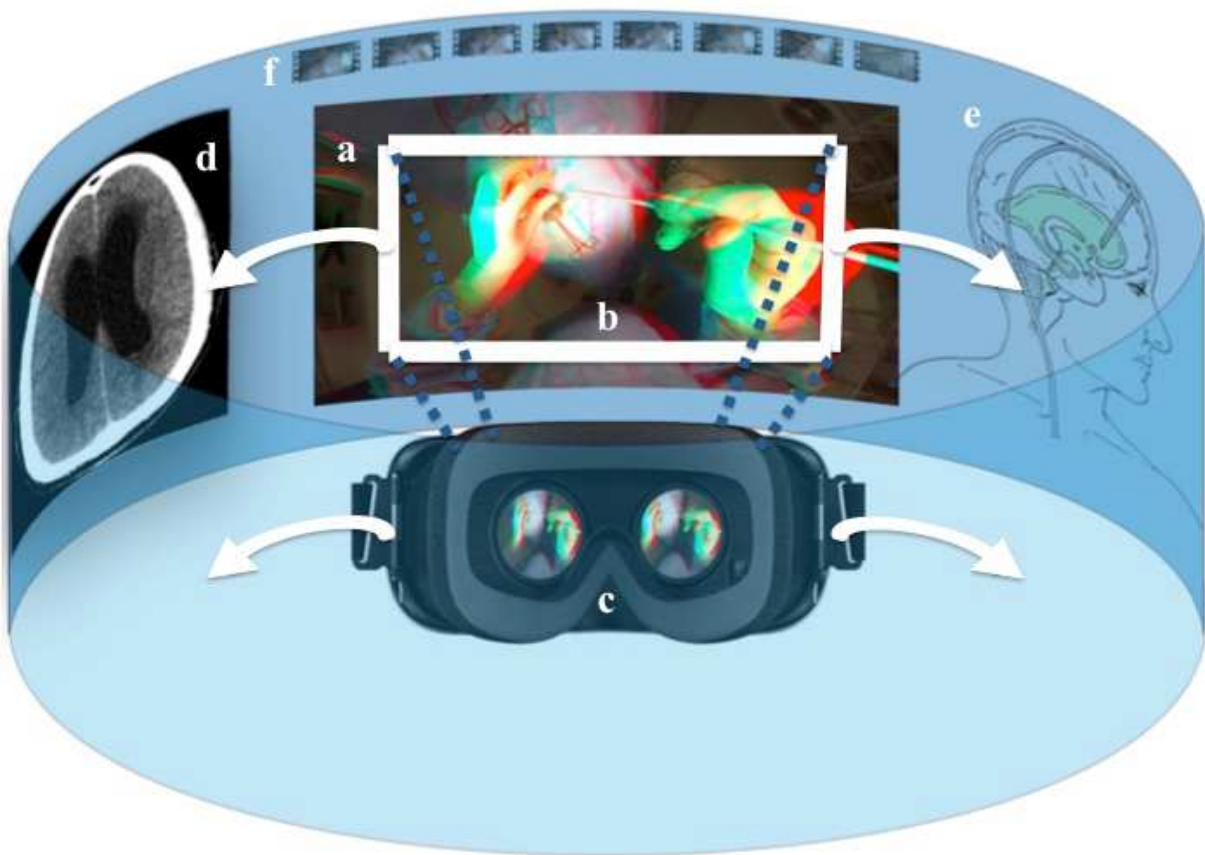


Fig. 6 : Illustration de l'interface utilisateur du logiciel à l'intérieur du casque. L'écran avec le film 3D est en position centrale (a). Le champ de vision (b) au travers des lentilles du casque VR (c) est représenté par un rectangle blanc. Tourner la tête vers la gauche permet de déplacer son champ de vision vers la gauche et ainsi d'explorer un scanner cérébral (d). A droite, l'apprenant-utilisateur trouvera une reconstruction anatomique (e). En regardant vers le haut, l'observateur peut choisir différents chapitres correspondant aux différentes étapes de la chirurgie (f).

3.5.2. LE TUTORIEL IMMERSIF EN REALITE VIRTUELLE COMME OUTIL D'APPRENTISSAGE EXPERIENTIEL

A l'heure du numérique et des formations à distance, on peut se poser la question quant à la capacité de maintenir la relation entre le formateur et les apprenants. Dans un travail publié en 2004, Jean-Claude Maurin (2004) stipule qu'il a pu observer les mêmes relations, notamment de transfert, malgré la distance. Par contre, le numérique peut venir lui-même perturber cette relation initialement à deux, dans la mesure où d'autres enseignants peuvent venir plus facilement se greffer dans l'apprentissage de l'étudiant. Dans le triangle de Houssaye (1988), le formateur laisse l'étudiant dans son autonomie de recherche. Hors on peut penser en fait, qu'en cas de compagnonnage, l'enseignant occupe initialement l'intégralité du triangle, au départ donnant les bonnes ressources, puis expliquant comment les trouver, avant de se désinvestir de cette partie. Il doit d'abord enseigner à apprendre avant de se cantonner à la partie formation. D'autant plus à l'heure du numérique, il se doit de guider l'étudiant à l'utilisation des nouvelles technologies, nouveaux médias qui présentent ces ressources de façon alternative pour apprendre, comme pour œuvrer. Le risque que présente le tout technologique, allié à l'époque de tendance à la déshumanisation pose le problème de s'éloigner encore plus du réel avec de nouveaux instruments. Ne plus être dans la réalité, ne plus ressentir. Un outil de simulation, aussi réaliste soit-il n'est pas réel, il permet de monter en compétence, pas d'être capable de réaliser la procédure sans soutien ensuite. Voilà le reproche que l'on peut faire à certains qui considèreraient les technologies non pas comme un outil, mais comme un remplacement. L'approche du tutoriel immersif est la réalité dans un environnement virtuel, pas le tout virtuel. Le tout virtuel (i.e., images de synthèses) lorsque ce qui est souhaité est du réalisme, pour apporter de la crédibilité, de la fidélité (*voir chapitre 3.2.1 - Le sentiment de présence en Réalité Virtuelle*) risque de produire l'effet de la vallée de l'étrange « Uncanny

Valley » définie en 1970 par Masahiro Mori (Mori et al., 2012). Cette théorie initialement envisagée pour la robotique stipule qu'une forme d'empathie, d'affinité, peut se créer avec un matériel synthétique qu'est un robot. Lorsque celui-ci est très réaliste, et que l'humain finit par se rendre compte qu'il est en fait synthétique, une répulsion se produit alors. Le cerveau n'est pas dupe, et quelque chose qui ressemble à la réalité sans l'être est dérangeant et ne sera pas assimilé de la même façon, voire sera in fine rejeté. D'autres possibilités existent pour avoir la réalité en réalité virtuelle, il s'agit des vidéos à 360, intéressantes pour comprendre un contexte. Le point de vue à la première personne (permis par le tutoriel immersif) est appelé en terme cinématographique le point de vue subjectif. Cette subjectivité n'est pas seulement la vision au travers des yeux d'un autre mais la perception de sa vision. Nous intégrons ainsi une dimension supérieure cognitive qui permet un partage différent. L'étudiant n'est pas en train de reproduire un geste qu'il n'a pas vu faire comme dans le cas des images de synthèse ; il n'est pas en train d'être à côté, d'un point de vue extérieur comme il l'est toujours au cours de son apprentissage avec les vidéos 360. Dans le cadre du tutoriel immersif, il vit la situation au travers des yeux de celui qui la réalise. Il peut entendre sa voix commenter et donner des conseils. C'est cette dimension empathique qui permet de se rapprocher du compagnonnage : la transmission d'un savoir-faire, et du vécu qui va avec. Le tutoriel immersif devrait être ainsi perçu comme un compagnon du compagnon : capable de le faire évoluer et d'emporter l'étudiant dans le vécu d'une réalité à laquelle il n'aurait pu accéder si rapidement.

Nous avons annoncé dans le chapitre sur les aspects cognitifs du compagnonnage en chirurgie, qu'il s'agissait d'un apprentissage sur le tas, ou encore, un « apprentissage en situation de travail ». Faisons appel aux premiers travaux de Kolb (1984) qui plaçait l'expérience comme la base de tout apprentissage. Kolb (Sternberg & Zhang, 2014) définit en premier lieu un cycle (*Figure 7*) partant du vécu d'une expérience (le ressenti), de l'observation (visualisation), de la conceptualisation abstraite (pensée), et de l'expérimentation. Un apprenant peut intégrer ce

cycle aux différentes étapes, mais doit in fine l’accomplir entièrement. Ce cycle correspond parfaitement aux différentes étapes que doit parcourir un apprenant en chirurgie pour aller vers l’autonomie, accompagné par son mentor. Dans le cadre de la chirurgie, ce cycle doit être parcouru plusieurs fois, concernant les différents types d’intervention par exemple mais aussi pour une même intervention pouvoir intégrer l’ensemble des particularités ou des différents cas de figures qui le conduira à l’autonomie.

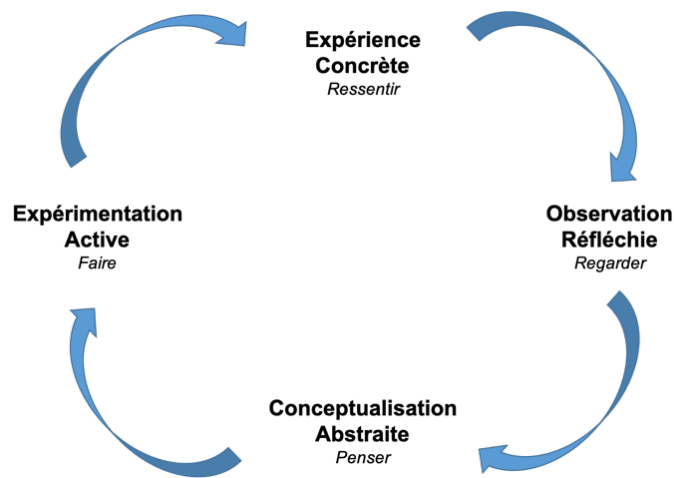


Fig. 7 : Kolb, 1984. *Reproduction du cycle de Kolb, traduite en Français.*

« L’autonomie n’est pas une conduite ou des comportements structurés qui sont une compétence de type behavioriste » mais bien une compétence à part entière « synonyme d’une potentialité intérieure, invisible, une capacité générative susceptible d’engendrer une infinie de conduites adéquates à une infinité de situations nouvelles. » (Frenay et al., 1998). Par ailleurs, ceci impose d’avoir développé un esprit critique, mais aussi une capacité à prendre du recul sur la situation au moment même où elle se produit « l’autonomie, la motivation, la compétence et la responsabilité d’un professionnel ne vont pas sans une forte capacité à réfléchir dans et sur l’action » (Gatto et al., 2016) notamment en intégrant « une formation à et par la recherche multi-référentielle (qualitative et quantitative) ».

Quelle serait la place du tutoriel immersif ? Tout d'abord le point de vue à la première personne en réalité virtuelle peut venir augmenter le nombre d'expériences vécues. Grâce notamment au sentiment de présence engendré par la réalité virtuelle, le cerveau le perçoit tel quel. La deuxième utilisation est la possibilité, lorsque l'apprenant a déjà vécu l'expérience de lui en présenter des alternatives, des variantes et ainsi d'être une ressource à l'étape d'observation, de comparaisons. Le tutoriel immersif peut-il aider à la conceptualisation abstraite ? Cela dépend des données additionnelles ajoutées à l'expérience (à droite et à gauche de l'écran principal) qui sont un matériel pédagogique pouvant représenter un diaporama, une figure, un objet 3D. Qu'en est-il de l'expérimentation ? Il s'agit d'une nouvelle fonctionnalité dans laquelle une interactivité est ajoutée sur le déroulé de la narration de la vidéo. Un arbre décisionnel permettant de modifier le scénario, et ainsi de pouvoir intégrer les conséquences d'un choix. L'utilisation du tutoriel immersif peut ainsi être une ressource dans le cadre de l'apprentissage expérientiel de par sa nature propre donnant le sentiment de vécu d'une expérience à la première personne. Le design pédagogique, l'expérience utilisateur, peut venir en complément aider, être une porte d'entrée vers chacune des parties du cycle de Kolb (1984). Il appartient au mentor de guider son utilisation pour laisser l'autonomie ensuite à l'apprenant sur le choix de ses ressources. Le tutoriel immersif pourrait être envisagé pour favoriser la création des « images mentales » comme il a été montré pour une procédure simple de « lavage des mains chirurgical » (Vignes et al., 2013) que cette technique améliorerait les performances de réalisation consécutive du geste (à l'instar des sportifs de haut niveau).

Cette utilisation devrait-elle se limiter aux gestes techniques ? La capacité de compréhension que permet la réalité virtuelle, associée à la capacité de projection que permet le tutoriel immersif, de compassion, pourrait être aussi utilisée dans une démarche éducationnelle pour percevoir le vécu d'un autre. Dans l'extension d'une utilisation aux procédures médico-

chirurgicales, on pourrait envisager le fait de mettre un professionnel de santé dans la peau d'un patient, pour mieux comprendre son vécu sous certaines circonstances.

Il a été réalisé un état des lieux de la recherche et une problématisation théorique sur :

- les problématiques de santé de publique d'accès aux soins et de formation des personnels soignants
- le mode d'apprentissage des procédures techniques - et en particulier chirurgicales,
- l'apprentissage expérientiel,
- les outils d'apprentissage avec en particulier l'intérêt de l'utilisation de la vidéo, et les différentes approches pédagogiques utilisées en Réalité Virtuelle.

Les résultats de l'état des lieux de la recherche et de la problématisation théorique nous ont permis de développer une méthode pour créer un environnement d'apprentissage 3D en réalité virtuelle (utilisant le casque de la réalité virtuelle) basé sur le film selon l'angle de vue de l'opérateur et un projet (annexe 1 ; Ros et al., 2017a).

4. ETUDES DU TUTORIEL IMMERSIF EN REALITE VIRTUELLE

A partir des résultats des premières enquêtes il a été réalisé plusieurs études (publiées) dans une approche pas à pas afin de connaître et de comprendre la valeur que pourrait apporter le tutoriel immersif en réalité virtuelle.

Il a été cherché à étudier les différents effets du tutoriel immersif en réalité virtuelle sur l'apprentissage de la chirurgie.

Il s'agissait de passer de l'Enregistrement Stéréoscopique aux Casques de Réalité Virtuelle. L'objectif était de concevoir un nouveau moyen pour apprendre la chirurgie (annexe n° 1 ; Ros et al., 2017a). La deuxième étude consistait à mesurer l'intérêt que pouvaient y voir des professionnels de santé (chirurgiens) de différents niveaux. C'est-à-dire l'apport pédagogique subjectif que pouvait présenter le tutoriel immersif en réalité virtuelle (avec utilisation d'un casque) (annexe n° 2 ; Ros et al., 2017b).

Puis il a été cherché à savoir si l'utilisation du tutoriel immersif en réalité virtuelle permettait d'améliorer la rétention, la restitution de connaissances théoriques, les pratiques et la diminution des erreurs lors de la généralisation d'une procédure technique au monde réel.

Nous nous sommes donc intéressés dans une nouvelle étude à l'apport que pouvait avoir le tutoriel immersif en réalité virtuelle dans une épreuve de restitution de connaissances comportementales théoriques concernant un geste pratique, par rapport au matériel qui est

communément utilisé par les chirurgiens, la technique opératoire (annexe n° 3 ; Ros et al., 2020a).

Dans l'étude suivante nous avons voulu mesurer les potentielles différences lors d'un apprentissage d'une procédure utilisant le tutoriel immersif en réalité virtuelle en comparaison avec un enseignement classique dispensé par un enseignant avec diaporama (annexe n° 4 ; Ros et al., 2021).

Nous avons ensuite testé les possibilités d'utilisation du tutoriel immersif à très grande échelle (annexe n° 5 ; Ros et al., 2020b). Nous avons enfin mené une réflexion quant à l'intégration de différents types de contenu en réalité virtuelle dans un programme pédagogique (annexe n° 6 ; Ros et al., 2020d).

L'ensemble de ces travaux sont disponibles en annexe.

4.1. VALIDATION DU CONCEPT PAR LES CHIRURGIENS

Étude Publiée (Annexe 2) :

From Stereoscopic Recording to Virtual Reality Headset: Designing a New way to learn surgery.

(De l'Enregistrement Stéréoscopique aux Casques de Réalité Virtuelle : Conception d'un Nouveau Moyen pour Apprendre la Chirurgie).

Ros M., Trives J.-V., Lonjon N.

Neurochirurgie, Elsevier 2017

4.1.1. PROTOCOLE

Nous avons réalisé initialement vingt essais de captation pour standardiser le premier process.

Il est à noter que les patients étaient informés avant la procédure de la réalisation de ces films.

Afin de mesurer l'intérêt et l'impact de cette solution, nous avons réalisé une enquête auprès de trente chirurgiens qui avaient essayé l'application finale (élargit ensuite à 80 professionnels de santé) de diverses spécialités (neurochirurgie, chirurgie urologique, digestive, orthopédique, plastique, vasculaire, oto-rhino-laryngologistes), de différents niveaux d'expertises (30% étaient internes, 30% de jeunes chirurgiens – jusqu'à 10 ans après l'internat, 40% possédaient

une expertise avancée), dont la moitié avait un cursus universitaire (enseignants-chercheurs). Nous leur avons adressé un questionnaire (*Table 1*) pour qualifier leur motivation à l'utilisation de ce procédé et quantifier leur intérêt, en particulier d'un point de vue pédagogique.

4.1.2. RESULTATS

Concernant la première partie du questionnaire, 50% se sont dit fascinés, 25% intéressés (*Table 1*). Tous ont noté un important intérêt pédagogique avec une moyenne de 4/5. Environ 85% ont dit être prêts (certainement ou probablement) à utiliser ce dispositif pour apprendre et/ou pour enseigner ; 90% aimeraient que cet outil fasse parti de l'apprentissage. Lorsqu'il est demandé ce que cela leur aurait permis si cela avait été disponible au moment de leur apprentissage, plus de la moitié ont répondu qu'ils auraient compris plus vite. 87% estiment qu'ils auraient appris plus vite parce qu'ils auraient compris plus vite. Environ la moitié ont estimé qu'ils auraient étendu leurs connaissances chirurgicales voire même qu'ils auraient pu repousser leurs limites. Les deux résultats d'importance de cette étude, au-delà de l'intérêt que ce dispositif a suscité venaient du fait que c'est la notion de compréhension qui l'emportait : une meilleure compréhension permettant d'apprendre plus vite. Nous ne sommes pas dans la simplification d'un procédé complexe comme cela peut être le cas lorsqu'on utilise une modélisation. Par exemple, en chimie organique, la capacité de voir la représentation d'une molécule, de la valence de ses atomes et des interactions que l'on peut engendrer. Ici l'approche est de montrer le réel sous le meilleur angle possible. L'autre résultat majeur est l'absence de différence liée à l'âge. Les métiers d'aujourd'hui demandent une perpétuelle mise à jour des pratiques, l'intérêt aurait été limité si les plus jeunes générations étaient les seules à se montrer intéressées. Par ailleurs, la production d'un contenu de qualité passe par l'engagement de celui qui le réalise. Si les mentors qui ont plus d'expérience n'avaient pas perçu l'intérêt, il serait difficile de créer des tutoriels à haute valeur ajoutée. Au-delà de cette étude, le doyen du test avait quatre-vingts ans

passés, et nous l'avons volontairement fait tester à un professionnel hors du champ médical. Il s'agissait d'un mécanicien. Nous avons pu constater son engagement dans ce tutoriel (il l'a regardé dans son intégralité) et l'impact pédagogique : après avoir retiré le casque, cette personne a récité l'intégralité des différentes étapes sans se tromper.

L'absence de différence en fonction de l'âge vient peut-être aussi du fait que l'environnement est basé sur de la vidéo et non pas sur des images de synthèse comme dans un jeu vidéo. Les utilisateurs se retrouvent ainsi dans un environnement qui est plus familier. Ainsi, cet aspect peut aider à combler le fossé technologique que l'on peut voir entre les générations.

Questions, N (%)	Certainement	Probablement	Peut-être	Probablement pas	Certainement pas
------------------	--------------	--------------	-----------	------------------	------------------

Dans l'éventualité de sa disponibilité

<i>Utiliserez-vous cet outil pour vous former ?</i>	13 (43,3)	10 (33,3)	5 (16,7)	1 (3,3)	1 (3,3)
<i>Utiliserez-vous cet outil pour former autrui ?</i>	15 (50)	11 (36,7)	3 (10)	-	1 (3,3)
<i>Selon vous, cet outil participera-t-il à la formation dans le futur ?</i>	14 (46,7)	16 (53,3)	-	-	-
<i>Souhaiteriez-vous voir cet outil participer à la formation dans le futur ?</i>	20 (66,7)	8 (26,7)	1 (3,3)	-	1 (3,3)

Si cet outil avait été disponible au cours de votre formation, pensez-vous que :

<i>vous auriez compris plus vite ?</i>	9 (30)	17 (56,7)	3 (10)	-	1 (3,3)
<i>vous auriez appris plus vite ?</i>	7 (23,3)	16 (53,3)	6 (20)	1 (3,3)	-
<i>vous auriez maîtrisé le savoir-faire plus vite ?</i>	5 (16,7)	17 (56,7)	7 (23,3)	1 (3,3)	-
<i>vous auriez étendu vos connaissances chirurgicales ?</i>	6 (20)	14 (46,7)	8 (26,7)	1 (3,3)	1 (3,3)
<i>aujourd'hui vous dépasseriez vos limites actuelles ?</i>	5 (16,7)	9 (30)	9 (30)	6 (20)	1 (3,3)

Table 1 : Résultats du questionnaire pour évaluer l'intérêt des utilisateurs.

Ces premiers résultats encourageants, ont permis d'obtenir le ressenti des professionnels qui auraient à utiliser cet outil. Nous en retenons un attrait, non dépendant de l'âge, et avec un sentiment de meilleure compréhension. Nous avons voulu alors tester de façon objective l'apport du tutoriel immersif en termes de pédagogie, et essayer de comprendre pour quel type d'enseignement il serait le plus efficace.

4.2. LE TUTORIEL IMMERSIF EN COMPLEMENT DES RESSOURCES HABITUELLES

Étude Publiée (Annexe 3) :

**Applying an Immersive Tutorial in Virtual Reality to Learning a New Technique
*(Utiliser le Tutoriel Immersif en Réalité Virtuelle pour Apprendre à Réaliser une
Nouvelle Procédure).***

Ros M., Debien B., Cyteval C., Molinari N., Gatto F., Lonjon N.

Neurochirurgie, Elsevier 2020

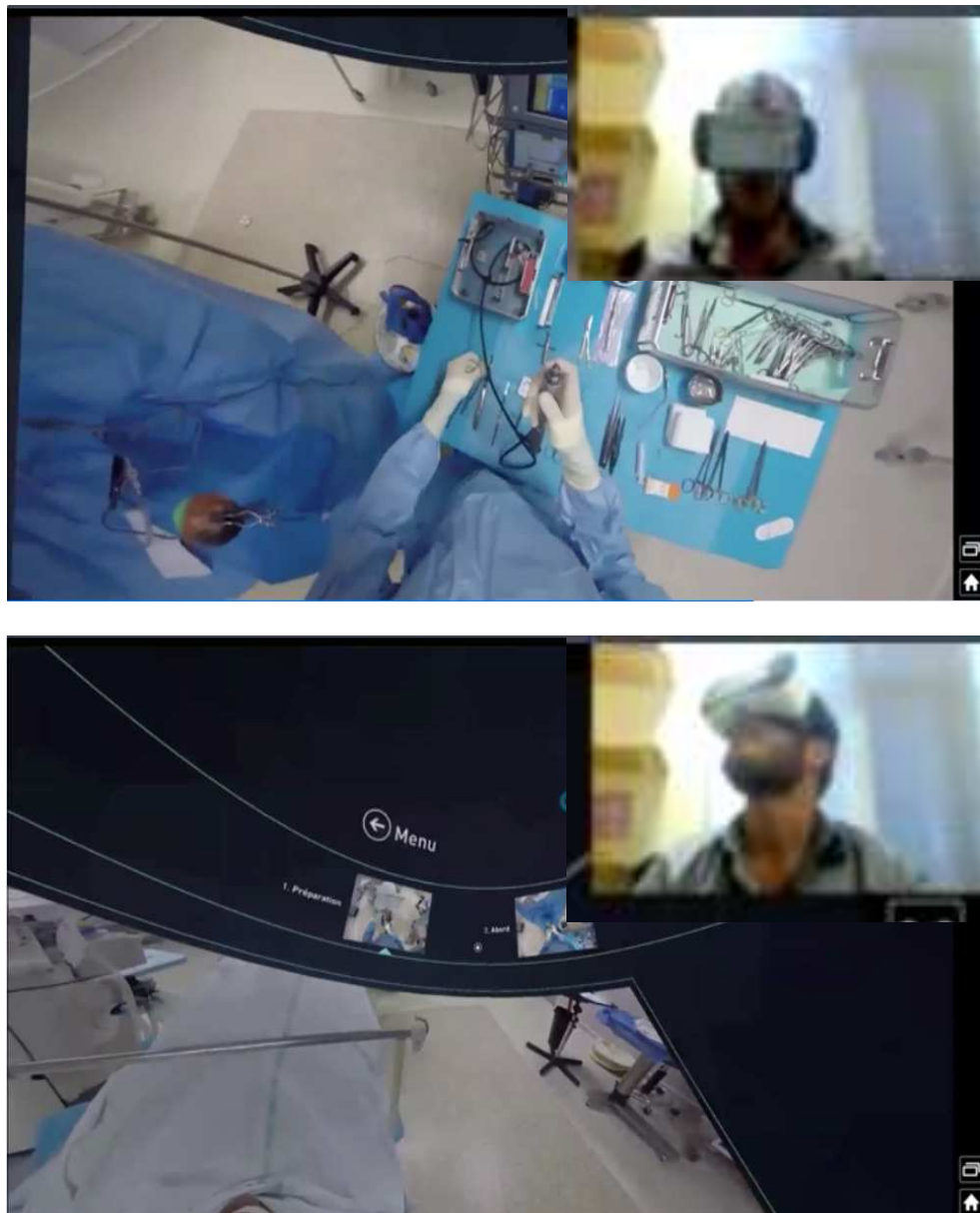
4.2.1. PROTOCOLE

En deuxième étape, nous avons souhaité étudier l'impact du tutoriel immersif sur la mémorisation et la restitution de connaissances en complément à une ressource habituelle.

Pour se faire nous avons voulu tester son efficacité associée à une notice technique rédigée, « technique opératoire » d'une procédure neurochirurgicale de dérivation ventriculaire externe.

Il s'agit en effet de la première ressource disponible lorsqu'un professionnel cherche à apprendre comment réaliser un geste. Nous avons choisi ce geste car son protocole est très standardisé et subdivisible facilement en plusieurs actions. Il consiste en la mise en place d'un drain dans les ventricules cérébraux pour en extraire du liquide et diminuer la pression intracranienne (cette pression pouvant augmenter à l'occasion de plusieurs processus pathologiques comme une hémorragie cérébrale) Nous avons conduit une étude prospective randomisée en centre de simulation. Le nombre de sujet nécessaire avait été calculé à 100 étudiants. 176 étudiants ont été enrôlés. Ils étaient en 3^{ème} année des études de médecine, n'avaient pas l'habitude de la chirurgie ou de lire ce genre de notice technique. Nous avons exclu ceux qui avaient déjà assisté à cette procédure au bloc opératoire. Ces étudiants ont été tirés au sort et

répartis en deux groupes. Le groupe A avait accès à la notice technique rédigée de la « Dérivation Ventriculaire Externe ». Le groupe B quant à lui avait accès à la notice technique puis à l'intervention correspondante en tutoriel immersif. Dans l'environnement que nous avons mis en place, le tutoriel se voulait être un exemple d'un cas, montrant l'application d'une technique standardisée. Dans le reste de l'environnement étaient présentées des données liées à un cas clinique. A gauche le scanner d'un patient présentant une Hémorragie sous-arachnoïdienne suite à la rupture d'un anévrisme, associée à une hydrocéphalie. A droite l'on pouvait voir la reconstruction en trois dimensions du scanner post-opératoire avec le trajet du drain ventriculaire correspondant au dit patient (*Figure 8*).



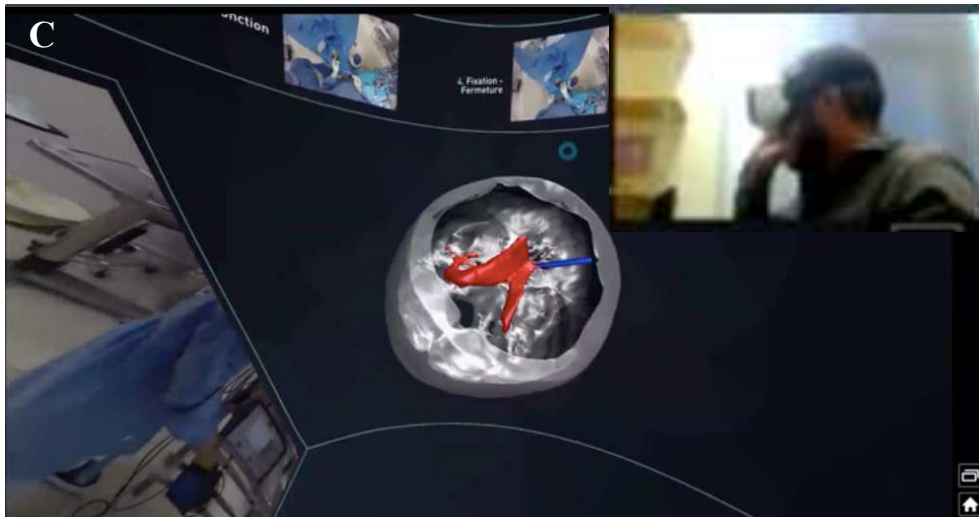


Fig. 8 : *Expérience Utilisateur du Tutoriel Immersif correspondant à la pose d'un Drain Ventriculaire Externe.*

(A) *Face à l'utilisateur, l'écran principal projette la vidéo 3D en point de vue à la première personne.*

(B) *En levant la tête, l'utilisateur a accès aux différents chapitres correspondant aux différentes étapes de la procédure.*

(C) *A droite de l'écran principal : contenu pédagogique additionnel (ici, un modèle 3D du crane avec la trajectoire du drain vers la corne frontale du ventricule droit. L'utilisateur peut faire tourner le modèle pour comprendre l'anatomie.*

(D) *à Gauche de l'écran principal : contenu additionnel / ici le scanner du patient. L'utilisateur peut faire défiler les différentes coupes*

Chaque groupe a ensuite répondu à un questionnaire (*Table 2*) immédiatement après (sur place), puis à 6 mois (envoi en ligne). Ce questionnaire était composé de questions à choix multiples

(5 pour chaque question). L'étudiant recevait un point s'il répondait correctement, 0.5 point s'il faisait une erreur, 0 s'il commettait deux erreurs.

QUESTIONNAIRE:

Question 1/

Avez-vous déjà assisté à une dérivation ventriculaire au bloc opératoire ?

Question 2/

Concernant la procédure de DVE,

- A/ c'est une procédure neurochirurgicale
- B/ elle se fait dans les mêmes conditions que la ponction lombaire
- C/ elle traite une augmentation aiguë du volume ventriculaire
- D/ c'est un traitement pérenne de l'hydrocéphalie
- E/ l'indication est portée sur une triade clinique et le scanner cérébral ne doit pas retarder sa réalisation

Question 3 /

La procédure de DVE se fait

- A/ au lit du patient en raison du caractère urgent
- B/ dans des conditions de stérilité maximale
- C/ au bloc opératoire, toujours sous anesthésie locale
- D/ systématiquement en raison d'une hydrocéphalie aiguë secondaire à un trouble de la production de LCR
- E/ au bloc opératoire après la réalisation d'un petit volet crânien

Question 4/

Concernant le positionnement du patient pour la réalisation d'un DVE, quel (s) item(s) est (sont) corrects ?

- A/ le patient est positionné en décubitus ventral, tête dans l'axe
- B/ le patient est positionné en décubitus dorsal, la tête en rotation gauche
- C/ le patient est positionné en décubitus dorsal, la tête dans l'axe
- D/ le patient est positionné en décubitus latéral gauche
- E / le patient est positionné en décubitus dorsal, la tête en hyperextension

Question 5/

Concernant les repères importants vous permettant de réaliser une DVE en toute sécurité, cochez les items justes.

- A/ l'axe médio-pupillaire et la ligne médiane sont des repères indispensables
- B / l'implantation du cathéter se fait sur une trajectoire orthogonale au crâne
- C/ le conduit auditif externe donne l'orientation antéropostérieur du cathéter
- D/ la suture coronale n'intervient pas dans les repères

E/ la mastoïde est un repère utile pour la ponction ventriculaire

Question 6/

Concernant l'ouverture de la boîte crânienne,

A/ elle n'est pas indispensable pour une simple DVE

B/ elle se fait au trocart à l'aide d'un marteau

C/ il est nécessaire d'utiliser une mèche montée sur un moteur rotatif

D/ l'ouverture est concomitante avec celle de la dure mère

E/ elle est réalisée en dirigeant un outil dans un axe oblique vers le repère pupillaire

Question 7/

Concernant l'introduction du cathéter dans le cerveau

A/ elle se fait selon un axe précis avec des repères crâniens

B/ toujours orthogonale à l'os

C/ en prenant comme repère l'axe pupillaire et la mastoïde

D/ en se dirigeant vers le canthus controlatéral

E/ sans aucune sensation jusqu'à l'introduction de 7 cm du cathéter

Question 8/

Concernant le recueil du LCR,

A/ il n'est obtenu qu'après avoir introduit au minimum 7 cm du cathéter

B/ il n'est pas systématique immédiatement après la ponction

C/ l'obtention du LCR, nécessite de retirer le guide

D/ en cas d'échec, la ponction se fait sur le ventricule controlatéral

E/ il peut être nécessaire de baisser l'extrémité du cathéter pour obtenir un écoulement

Question 9/

Lors d'une absence de recueil de LCR immédiatement,

A/ c'est une situation fréquente, et cela ne doit pas modifier le déroulement

B/ poursuivre l'introduction du cathéter jusqu'à 10 cm de crâne

C/ ressortir le cathéter et modifier la trajectoire

D/ après trois échecs, il peut être nécessaire de contrôler le positionnement au scanner

E/ introduire un second cathéter pour ponctionner le ventricule controlatéral

Question 10/

Après l'obtention du LCR, vous devez

A/ retirer le guide immédiatement en prenant soins de ne pas mobiliser le cathéter

B/ fermer immédiatement l'incision sur le cathéter pour le fixer

C/ faire un prélèvement pour analyse systématique

D/ introduire 1cm de cathéter après retrait du guide pour se situer au milieu du ventricule

E/ tunnéliser le cathéter à distance de l'incision puis fixer le cathéter à la peau afin qu'il ne bouge plus

Table 2 : Questionnaire concernant la dérivation ventriculaire externe

4.2.2. RESULTATS

Au final, 173 étudiants ont été inclus dans l'étude. 88 appartenaient au groupe A – note technique (51% de femmes, 49% d'hommes), et 85 au groupe B – avec réalité virtuelle (54% de femmes, 46% d'hommes).

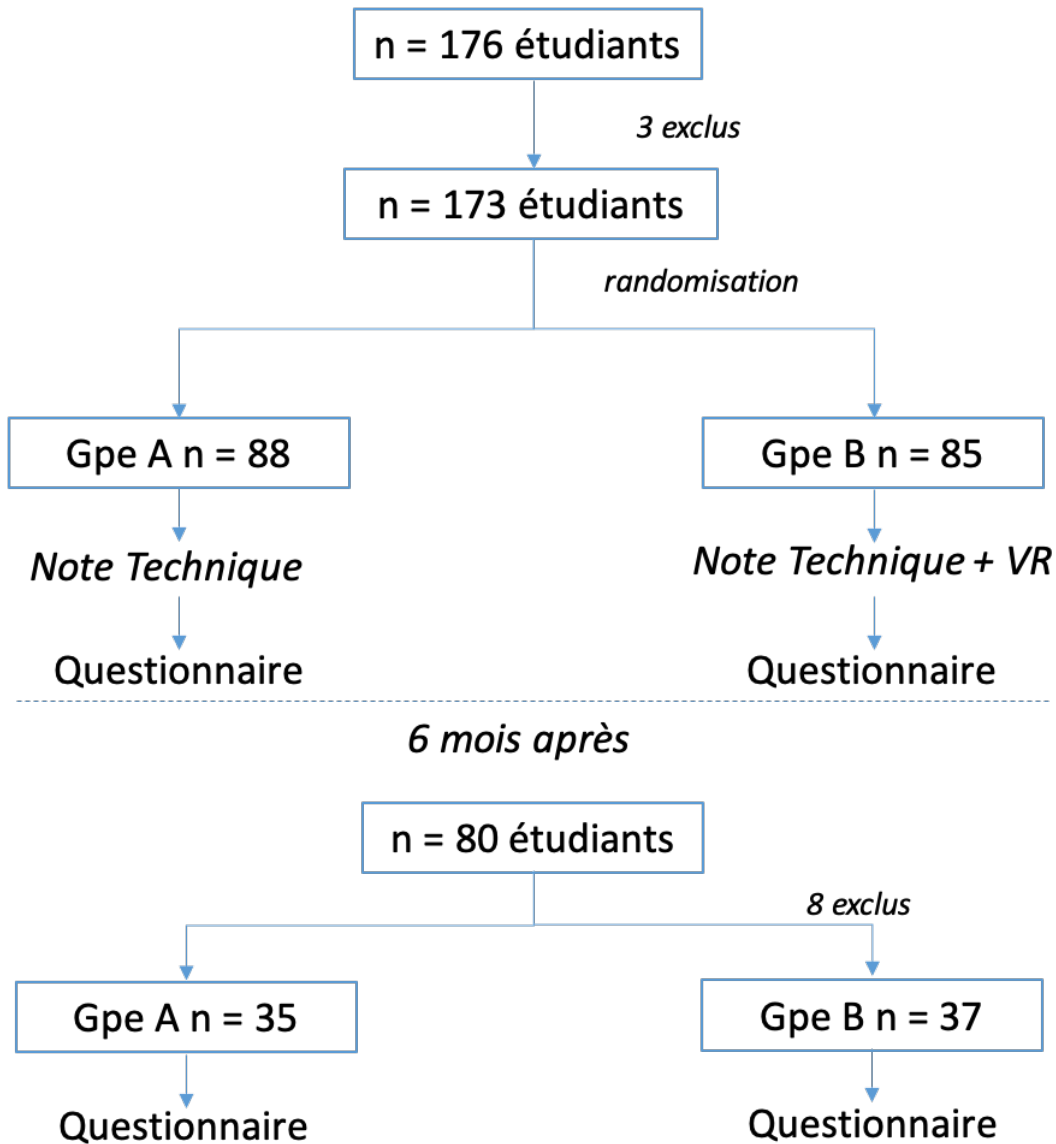


Schéma 2 : Organigramme présentant les étapes de l'étude.

Le Groupe B – avec VR a présenté de meilleurs résultats (*Figure 9*), statistiquement significatifs, aux réponses au questionnaire ($p=0.01$) avec un score moyen de 5.17 [DS \pm 1.29] et un score médian de 5 (95% IC : 4.5-6), en comparaison au Groupe A qui a eu un score moyen 4.59 [DS \pm 1.4] et un score médian de 5 (95% IC: 3.5-5.5). Le groupe B a mieux répondu aux questions relatives plus spécifiquement à la technique opératoire (i.e., gestes), avec une différence significative pour les questions 6 ($p=0.017$) et 10 ($p=0.02$). Une tendance similaire a été constatée concernant la question 7 bien que non significative ($p=0.07$).

Nous avons obtenu 80 réponses à 6 mois. Huit ont été exclus car ils avaient assisté entre temps à cette procédure au bloc opératoire. Parmi les étudiants restant 35 appartenaient au groupe A, 37 au groupe B. Les résultats ont montré la même tendance : le groupe B – avec VR avait de meilleurs résultats que le groupe A. Le score moyen pour le Groupe A était de 3.19 [DS \pm 1.44] avec un score médian de 3 (95% IC: 2-4); pour le Groupe B le score moyen était de 3.57 [DS \pm 1.35] pour un médian de 3.5 (95% IC: 3-4.5). Cette fois-ci, nous n'avons par contre pas pu montrer de significativité ($p=0.19$) du fait du nombre de sujets nécessaires insuffisants. L'ensemble des résultats sont présentés en Table 3.

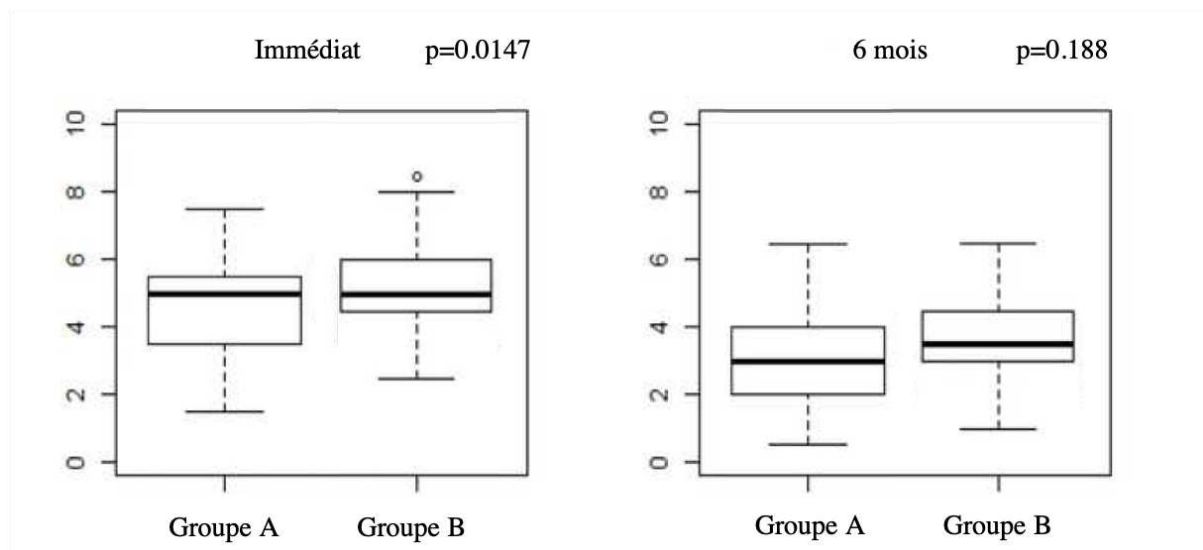


Fig. 9 : Résultats Immédiats et à 6 mois (Wilcoxon rank-sum test).
Le Groupe B a des résultats significativement meilleurs au post-test immédiat; même tendance à six mois.

	Groupe sans VR (A)	Groupe avec VR (B)	p-value
Q2			0.347
0	12(7%)	14(8%)	
0.5	33(19%)	25(14%)	
1	40(23%)	49(28%)	
Q3			0.791
0	18(10%)	21(12%)	
0.5	44(25%)	41(24%)	
1	23(13%)	26(15%)	
Q4			0.455
0	2(1%)	5(3%)	
0.5	2(1%)	1(1%)	
1	81(47%)	82(47%)	
Q5			0.356
0	16(9%)	19(11%)	
0.5	29(17%)	37(21%)	
1	40(23%)	32(18%)	
Q6			0.017
0	25(14%)	44(25%)	
0.5	26(15%)	16(9%)	
1	34(20%)	28(16%)	
Q7			0.07
0	30(17%)	33(19%)	
0.5	21(12%)	33(19%)	
1	34(20%)	22(13%)	
Q8			0.343
0	49(28%)	53(31%)	
0.5	21(12%)	26(15%)	
1	15(9%)	9(5%)	
Q9			0.474
0	21(12%)	22(13%)	
0.5	30(17%)	38(22%)	
1	34(20%)	28(16%)	
Q10			0.002
0	34(20%)	55(32%)	
0.5	31(18%)	27(16%)	
1	20(12%)	6(3%)	
Total - Immédiat	4.59 ± 1.4 5[3.5;5.5]	5.17 ± 1.29 5[4.5;6]	0.0146

	Groupe sans VR (A)	Groupe avec VR (B)	p-value
Q2.6			0.347
0	11(15%)	9(12%)	
0.5	11(15%)	16(22%)	
1	15(21%)	10(14%)	
Q3.6			0.505
0	7(10%)	8(11%)	
0.5	22(31%)	23(32%)	
1	8(11%)	4(6%)	
Q4.6			0.125
0	15(21%)	22(31%)	
0.5	1(1%)	0(0%)	
1	21(29%)	13(18%)	
Q5.6			0.292
0	19(26%)	20(28%)	
0.5	13(18%)	7(10%)	
1	5(7%)	8(11%)	
Q6.6			0.389
0	17(24%)	19(26%)	
0.5	15(21%)	9(12%)	
1	5(7%)	7(10%)	
Q7.6			0.357
0	23(32%)	16(22%)	
0.5	11(15%)	14(19%)	
1	3(4%)	5(7%)	
Q8.6			0.367
0	19(26%)	23(32%)	
0.5	13(18%)	10(14%)	
1	5(7%)	2(3%)	
Q9.6			0.105
0	17(24%)	19(26%)	
0.5	7(10%)	11(15%)	
1	13(18%)	5(7%)	
Q10.6			0.256
0	19(26%)	12(17%)	
0.5	15(21%)	21(29%)	
1	3(4%)	2(3%)	
Total - 6 Mois	3.19 ± 1.44 3[2;4]	3.57 ± 1.35 3.5[3;4.5]	0.1858

Table 3 : Résultats détaillés Immédiats et à moyen terme au questionnaire concernant la DVE.

Les Questions Q étaient des questions à choix multiple (5 choix pour chaque question).

Nous avons pu montrer grâce à ce travail une amélioration significative de la restitution et de la rétention à l'aide de l'ajout de la réalité virtuelle à un matériel pédagogique habituel qu'est la note technique.

Pour nous, s'agissant d'un nouvel outil, il doit être considéré comme un apport, et sa place doit être comprise dans un programme pédagogique. Le tutoriel immersif correspondait à la technique opératoire, il n'y avait pas de données théoriques à l'intérieur. La note technique quant à elle commençait avec des données théoriques reprenant notamment les indications. Les questions se répartissaient entre ces deux domaines théorique et applicatif. Nous aurions probablement dû ajouter un nombre plus important de questions. Si nous avions posé plus de questions purement techniques peut-être aurions-nous pu montrer une plus grande différence avec une puissance augmentée. Ceci, nous semble-t-il, aurait permis in fine d'augmenter la robustesse de l'étude. A six mois nous montrons la même tendance, mais n'avons pas obtenu de significativité : malgré un très bon taux de réponse (plus de la moitié) nous ne sommes pas parvenus à obtenir le nombre de sujets nécessaires qui avait été fixé à cent.

Nous estimons ainsi que cela permet aux étudiants de mieux comprendre grâce au vécu de la mise en application de ce qu'ils ont lu.

Nous avons initialement souhaité étudier le tutoriel immersif en tant qu'outil pédagogique complémentaire, en apport au matériel que les chirurgiens utilisent habituellement, la technique opératoire. Au-delà d'améliorer comme nous l'avons prouvé la rétention et la restitution de ces connaissances pratiques, l'étape d'après est de savoir si l'utilisation du tutoriel immersif permet de monter en compétence lors de la généralisation d'une procédure au monde réel.

4.3. VALIDATION PRATIQUE DU TUTORIEL IMMERSIF

Étude Publiée (Annexe 4) :

The Effects of an Immersive Virtual Reality Application in First Person Point-of-View, Video-Based, on The Learning and Generalized Performance of a Lumbar Puncture Medical Procedure.

(Les Effets d'une Application en Réalité Virtuelle Immersive, Basée sur la Vidéo en Point de Vue à la Première Personne, sur l'Apprentissage et les Performances lors de la Généralisation d'une Procédure Médicale de Ponction Lombar)

Ros M., Neuwirth L.S., NG S., Debien B., Molinari N., Gatto F., Lonjon N.

Educational Technology Research and Development, Springer, 2021

4.3.1. PROTOCOLE

La question se posait alors de se concentrer sur une épreuve de réalisation d'un geste, pour étudier l'effet du tutoriel immersif sur les praxies. Du fait de l'environnement créé, nous nous concentrons sur l'apprentissage d'une technique. Une technique est employée dans un environnement, a ses indications, ses contre-indications, ses complications. Les étudiants en quatrième année de médecine doivent apprendre le geste de ponction lombaire en centre de simulation. L'organisation de cet apprentissage passe par un cours réalisé sur diaporama par un professeur. Il comprend les différentes données théoriques et techniques. L'enseignant montre ensuite le matériel médical que les étudiants se font passer de main en main. Il s'en suit une mise en application sur mannequin haute-fidélité. Il s'agit d'un tronc en silicone reprenant les caractéristiques anatomiques et mécaniques d'un rachis lombaire (*Figure 10*). Un système de

perfusion permet d'alimenter une colonne d'eau correspondant aux espaces dans lesquels les étudiants doivent effectuer les prélèvements.



Fig. 10 : Mannequin de ponction lombaire

Le tutoriel a été réalisé comme suit : nous avons filmé en point de vue 3D à la première personne la réalisation d'une ponction lombaire sur un mannequin en reproduisant les différentes étapes depuis la préparation, la ponction jusqu'à la mise en place du pansement. Dans l'environnement en réalité virtuelle nous avons ajouté un diaporama reprenant la théorie (indications, contre-indications, complications) et sur la droite une reconstruction anatomique en trois dimensions du rachis lombaire montrant le trajet que l'aiguille doit effectuer (*Figure 11*). Une voix off a été enregistrée pour détailler les différents points de la technique.

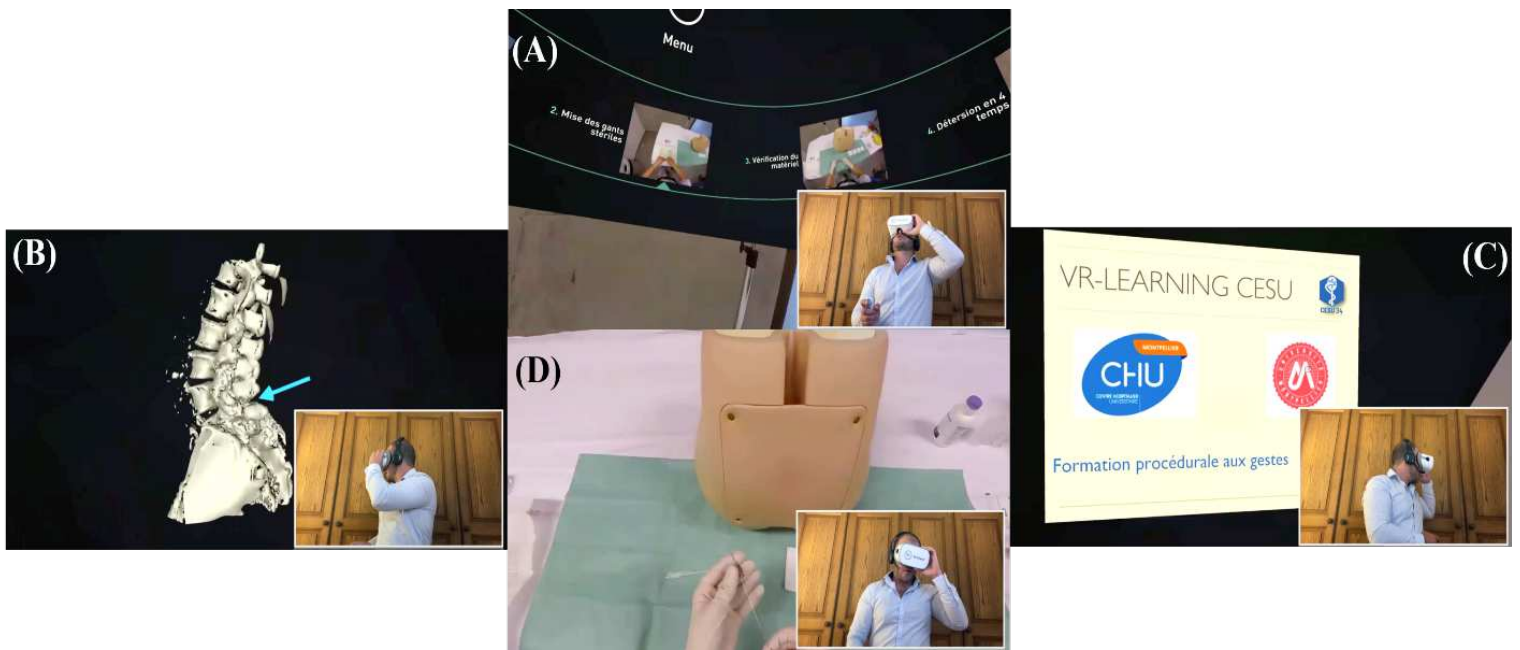


Fig. 11 : L'expérience utilisateur du Tutoriel Immersif relatif à la ponction lombaire.

- (A) Menu principal présentant les différents chapitres correspondant aux différentes étapes de la procédure.
- (B) Contenu additionnel à droite présentant une reconstruction 3D anatomique du rachis lombaire avec la mise en évidence de l'espace inter-vertébral correspondant à la zone de ponction. L'utilisateur peut faire tourner l'élément.
- (C) Contenu additionnel à gauche correspondant à un diaporama pédagogique. L'utilisateur peut faire défiler les différentes diapositives.
- (D) Le film 3D en point de vue à la première personne montrant l'expert en train de réaliser la procédure de ponction lombaire.

Nous avons tiré au sort les étudiants en deux groupes : le Groupe A correspondait au cours classique sur diaporama avec l'enseignant, le Groupe B au tutoriel immersif en réalité virtuelle. Chaque groupe devait ensuite réaliser une épreuve de ponction lombaire sur le mannequin haute-fidélité. L'examineur disposait d'une feuille de notation (*Table 4*) correspondant en premier lieu à des questions d'ordre théorique sur le matériel utilisé, l'installation du patient, le repérage anatomique. Il demandait ensuite à l'étudiant d'œuvrer et cotait la réalisation des différentes étapes jusqu'au retrait de l'aiguille et la mise en place du pansement. La durée de réalisation de la ponction était chronométrée depuis la prise de l'aiguille jusqu'au succès, c'est-à-dire l'issue de liquide.

Evaluation:

Evaluation Orale

Q1: De quel matériel avez-vous besoin, en dehors de l'aiguille, pour réaliser une Ponction Lombaire ?

R1: Champs Stériles, Compresses stériles, Gants stériles, Solutions de désinfections, Antiseptiques, tubes
(0.2 point par bonne réponse)

Q2: En combien de temps s'effectue l'asepsie ?

R2: 5 temps
(0.5 point)

Q3: Dans quel ordre réalisez-vous l'asepsie ?

R3: Savon, eau, séchage, antiseptique, 2ème antiseptique
(1 point, 0 si une erreur)

Q4: De combien de composants le système de ponction est-il-composé ?

R4: trois
(0.5 point)

Q5: Citez-les

R5: Introducteur court, trocart, mandarin
(0.25 point par réponse)

Q6: Citez les positions dans lesquelles on doit installer le patient pour réaliser une PL

R6: Assis, Décubitus Latéral (Genu pectoral)
(0.25 point par réponse)

Q7: En regard de quel niveau intervertébral se projette habituellement la crête iliaque ?

R7: L4-L5
(0.5 point)

Q8: Citez 2 niveaux les plus fréquemment utilisés pour réaliser une ponction

R8: L4-L5 / L5-S1
(0.5 point par réponse)

Evaluation Pratique

Q9: Repérage

➔ Palpation crête, Palpation espace inter-épineux)
(0.25 point par action)

Q10: Collage de champ, maintien aseptie

➔ Erreur ou pas
(0 ou 1 point)

Q11: Prise de l'aiguille, maintien aseptie

- ➔ Erreur ou pas
(0 ou 1 point)

Q12: Ponction, erreur une fois l'aiguille en main

- ➔ Repose l'aiguille, change de main, touche autre endroit que point de ponction
(retrait de 0.33 point par mauvaise action)

Q13: Issue de LCR

- ➔ 1 tentative / 2 tentative / plus de 2 tentatives
(2 points / 1 point / 0)

Q14: retrait de l'aiguille:

- ➔ en bloc ou pas
(0 ou 0.5 point)
- ➔ application de compresse au point de ponction ou pas
(0 ou 0.5 point)

Q15: Durée de réalisation

Table 4 : Feuille de cotation de l'examineur

4.3.2. RESULTATS

Quatre-vingt-neuf étudiants ont participé à l'étude, trente-sept garçons, cinquante-deux filles.

La moyenne d'âge était de 23 ans et 4 mois (minimum 19 ans, maximum 36 ans). Le Groupe A était constitué de 44 étudiants (17 Garçons / 27 Filles) – le Groupe B de 45 étudiants (20 Garçons / 25 Filles). Les résultats natifs sont présentés en Table 5.

Les étudiants ayant bénéficié d'un enseignement classique ont mieux répondu aux questions orales (somme des questions 1 à 8, $p < 0.001$). Les items concernant la réalisation de la procédure (somme des questions 9 à 14) ne montrent pas de différence entre les deux groupes ($p = 0.78$).

Le délai de réalisation de la procédure est quant à lui significativement plus court pour le groupe VR (seuil de 200 ms considéré, $p < 0.01$).

Table 5A. Paramètres Statistiques de l'évaluation orale (Q1-Q8) et pratique (Q9-Q14) pour chaque groupe en comparaison avec la population totale.

Question	<i>IVRA-FPV</i> <i>n = 44</i>	<i>Leçon</i> <i>n = 45</i>	<i>Population Totale</i> <i>N = 89</i>	<i>Mann-Whitney</i> <i>U</i>	<i>Z-test</i>	<i>p-Value</i> <i>(Sig. 2 Tailed)</i>
	<i>Mean</i> <i>(SD)</i>	<i>Mean</i> <i>(SD)</i>	<i>Mean</i> <i>(SD)</i>			
1	<i>M = 0.89</i> <i>(SD = 0.15)</i>	<i>M = 0.96</i> <i>(SD = 0.10)</i>	<i>M = 0.92</i> <i>(SD = 0.13)</i>	<i>745.00</i>	<i>-2.43</i>	<i>p < 0.02*</i>
2	<i>M = 0.23</i> <i>(SD = 0.25)</i>	<i>M = 0.42</i> <i>(SD = 0.18)</i>	<i>M = 0.33</i> <i>(SD = 0.24)</i>	<i>604.00</i>	<i>-3.84</i>	<i>p < 0.001***</i>
3	<i>M = 0.37</i> <i>(SD = 0.49)</i>	<i>M = 0.69</i> <i>(SD = 0.47)</i>	<i>M = 0.53</i> <i>(SD = 0.50)</i>	<i>661.00</i>	<i>-2.96</i>	<i>p < 0.03*</i>
4	<i>M = 0.36</i> <i>(SD = 0.23)</i>	<i>M = 0.48</i> <i>(SD = 0.10)</i>	<i>M = 0.42</i> <i>(SD = 0.18)</i>	<i>764.00</i>	<i>-2.94</i>	<i>p < 0.03*</i>
5	<i>M = 0.32</i> <i>(SD = 0.19)</i>	<i>M = 0.58</i> <i>(SD = 0.18)</i>	<i>M = 0.45</i> <i>(SD = 0.23)</i>	<i>359.50</i>	<i>-5.44</i>	<i>p < 0.001***</i>
6	<i>M = 0.46</i> <i>(SD = 0.11)</i>	<i>M = 0.50</i> <i>(SD = 0.00)</i>	<i>M = 0.48</i> <i>(SD = 0.08)</i>	<i>855.00</i>	<i>-2.55</i>	<i>p < 0.01**</i>
7	<i>M = 0.49</i> <i>(SD = 0.08)</i>	<i>M = 0.50</i> <i>(SD = 0.00)</i>	<i>M = 0.49</i> <i>(SD = 0.05)</i>	<i>967.50</i>	<i>-1.01</i>	<i>p = 0.31 n/s</i>
8	<i>M = 0.94</i> <i>(SD = 0.19)</i>	<i>M = 0.86</i> <i>(SD = 0.23)</i>	<i>M = 0.90</i> <i>(SD = 0.22)</i>	<i>800.50</i>	<i>-2.28</i>	<i>p < 0.02*</i>
9	<i>M = 0.45</i> <i>(SD = 0.15)</i>	<i>M = 0.42</i> <i>(SD = 0.15)</i>	<i>M = 0.44</i> <i>(SD = 0.15)</i>	<i>375.50</i>	<i>-5.06</i>	<i>p < 0.001*</i>
10	<i>M = 0.74</i> <i>(SD = 0.44)</i>	<i>M = 0.78</i> <i>(SD = 0.42)</i>	<i>M = 0.76</i> <i>(SD = 0.43)</i>	<i>946.50</i>	<i>-0.47</i>	<i>p = 0.64 n/s</i>
11	<i>M = 0.75</i> <i>(SD = 0.44)</i>	<i>M = 0.49</i> <i>(SD = 0.51)</i>	<i>M = 0.62</i> <i>(SD = 0.49)</i>	<i>945.00</i>	<i>-0.49</i>	<i>p = 0.62 n/s</i>
12	<i>M = 0.83</i> <i>(SD = 0.22)</i>	<i>M = 0.81</i> <i>(SD = 0.21)</i>	<i>M = 0.82</i> <i>(SD = 0.22)</i>	<i>731.50</i>	<i>-2.52</i>	<i>p < 0.01**</i>
13	<i>M = 1.11</i> <i>(SD = 0.81)</i>	<i>M = 1.59</i> <i>(SD = 0.76)</i>	<i>M = 1.35</i> <i>(SD = 0.82)</i>	<i>928.00</i>	<i>-0.57</i>	<i>p = 0.57 n/s</i>
14	<i>M = 0.89</i> <i>(SD = 0.21)</i>	<i>M = 0.56</i> <i>(SD = 0.41)</i>	<i>M = 0.72</i> <i>(SD = 0.36)</i>	<i>682.50</i>	<i>-2.82</i>	<i>p < 0.01**</i>

Table 5B. Paramètres Statistiques de la durée de réalisation de la ponction lombaire (seuil à 200 s.)

<i>Groupe</i>	<i>N-size</i>	<i>Mean (SD)</i>	<i>Median (Q25; Q75)</i>	<i>t-test (df)</i>	<i>p-value (Sig. 2 Tailed)</i>	<i>Effect Size Cohen's d</i>
IVRA-FPV	43	153.26 (73.38)	140.00 (110.00; 180.00)	-3.34 (54)	$p < 0.01^{**}$	-1.80
Lecture	44	227.80 (165.93)	240.00 (85.00; 360.00)	-----	-----	-----
Total Population	87	190.95 (133.42)	160.00 (90.00; 260.00)	-----	-----	-----

Table 5 : Résultats statistiques de chaque groupe concernant l'évaluation orale, pratique (A) et la durée de réalisation de la ponction lombaire (B).

La figure 12.A illustre les scores des groupes sur l'évaluation orale à l'aide d'un box plot avec les déviations standards correspondant aux moustaches, la médiane étant la ligne noire. On peut voir sur la distribution que 75% des participants du Groupe B ont eu un score inférieur à la médiane et au premier quartile par rapport aux participants du Groupe A. ($p < 0.001$)

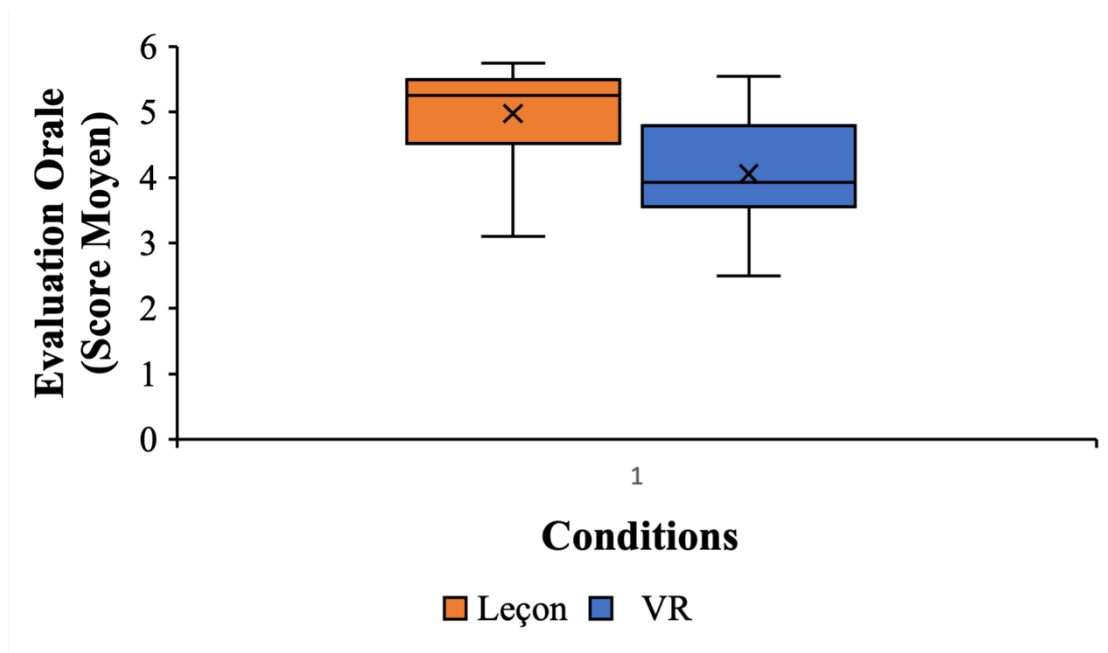


Fig. 12.A : Résultats des participants pour l'évaluation orale (Q1-Q8) de chaque groupe.

Les données sont présentées sous forme de box plot, les moustaches correspondent au quartile de chaque distribution. Les participants du groupe enseignement traditionnel ont mieux répondu que le groupe VR à ces items de de façon significative ($p < 0.001$).

La figure 12.B illustre avec un histogramme la distribution des participants du Groupe A (Leçon = Présentation / Orange) et du Groupe B (VR/bleu). Les données montrent que les participants du Groupe A ont une distribution normale qui est négativement déviée (avec le score le plus fréquent pour l'examen oral qui était entre 5.1 et 5.5), alors que les participants du groupe B ont une distribution quasi normale qui est positivement déviée (3.51 – 4). Les résultats du Groupe A étaient Med = 3.93, M = 4.06, SEM \pm 0.12, alors que ceux du Groupe B étaient Med = 5.25, M = 4.97, SEM \pm 0.10; $p = 0.03^*$.

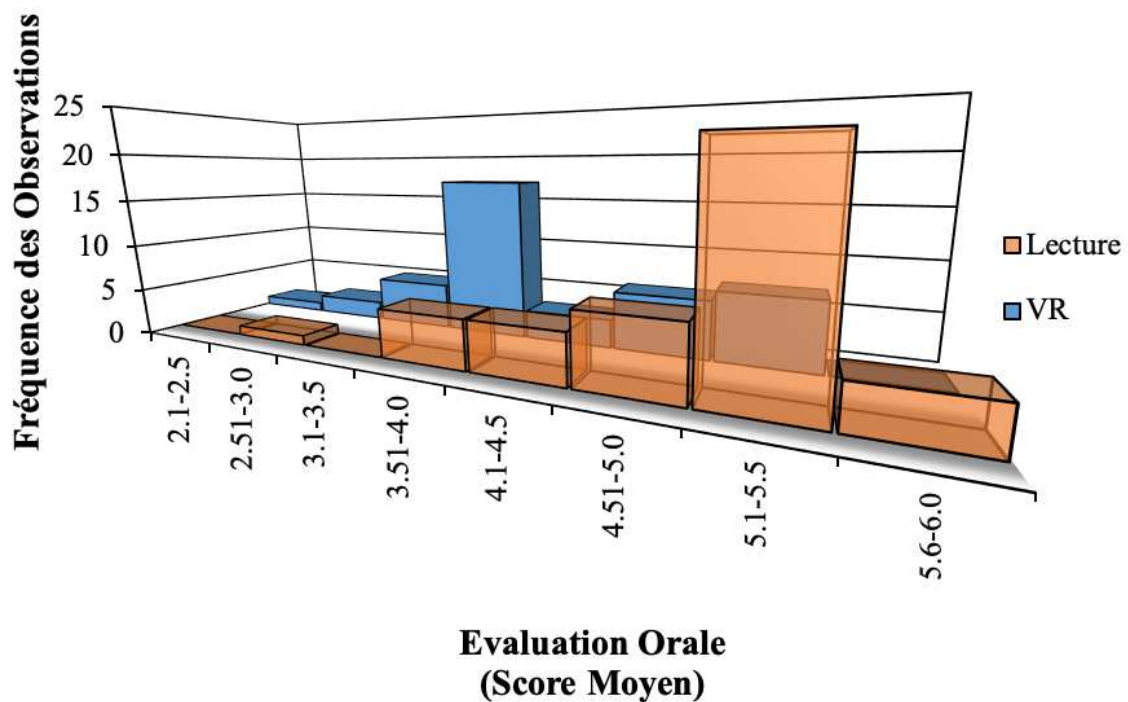


Fig. 12.B : Fréquence de distribution des scores moyens des groupes enseignement (orange) et VR (bleu) sur l'évaluation orale (Q1-Q8). Les groupes présentent une distribution approximativement normale (surtout le groupe enseignement classique, entre 4.51 et 6.0). Le groupe VR est positivement dévié.

Il est intéressant de constater que lorsque les participants étaient évalués sur leur capacité à appliquer leur connaissance de base, c'est à dire en généralisant au réel l'ensemble de leurs compétences pour procéder à la réalisation de la ponction lombaire sur un mannequin, la précision dans l'exécution de la procédure (items 9 à 14) n'a pas montré de différences significatives entre les deux groupes, mais une tendance ($p=0,78$). La figure 13.A illustre les scores des groupes sur les étapes comportementales pour la réalisation de la ponction lombaire à l'aide d'un box plot (les déviations standards correspondant aux moustaches, la médiane étant la ligne noire).

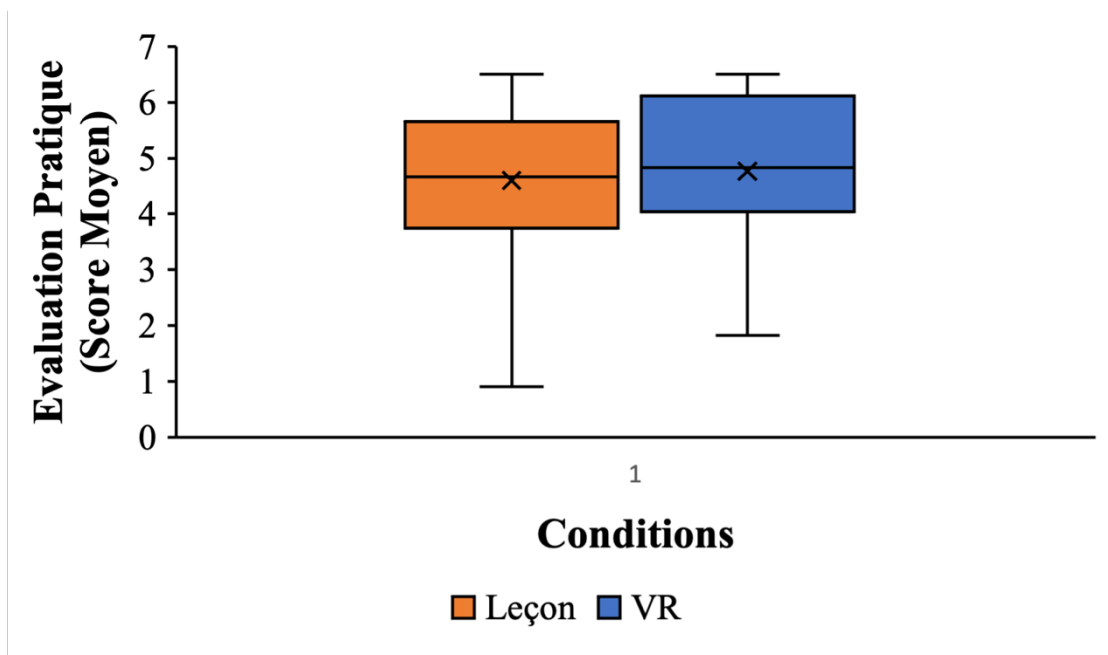


Fig. 13.A : Résultats des participants sur la deuxième partie qui est l'évaluation pratique (Q9-Q14) pour chaque groupe. Les données sont présentées sous forme de box plot, les moustaches correspondent au quartile pour chaque distribution. Les participants des deux groupes enseignement traditionnel et VR n'ont pas montré de différences concernant l'évaluation pratique ($p = 0.78$ n/s).

De façon additionnelle, la figure 13.B illustre avec un histogramme la distribution des participants du Groupe A (Leçon / Orange) et du Groupe B (VR/bleu). Les données montrent que les participants du Groupe A ont une distribution normale qui est négativement déviée (avec le score le plus fréquent pour l'examen oral qui était entre 5.1 et 5.5), alors que les participants du groupe B ont une distribution polymodale négativement déviée avec les scores les plus fréquents suivant les modes 4.1-4.5, 5.1-5.5, & 6.1-6.5 (Fig. 3B). Les participants du Groupe A ont présenté comme scores : que ceux du Groupe B Med = 4.83, M = 4.77, SEM \pm 0.20Med ; alors = 4.66, M = 4.60, SEM \pm 0.22; p = 0.78 n/s.

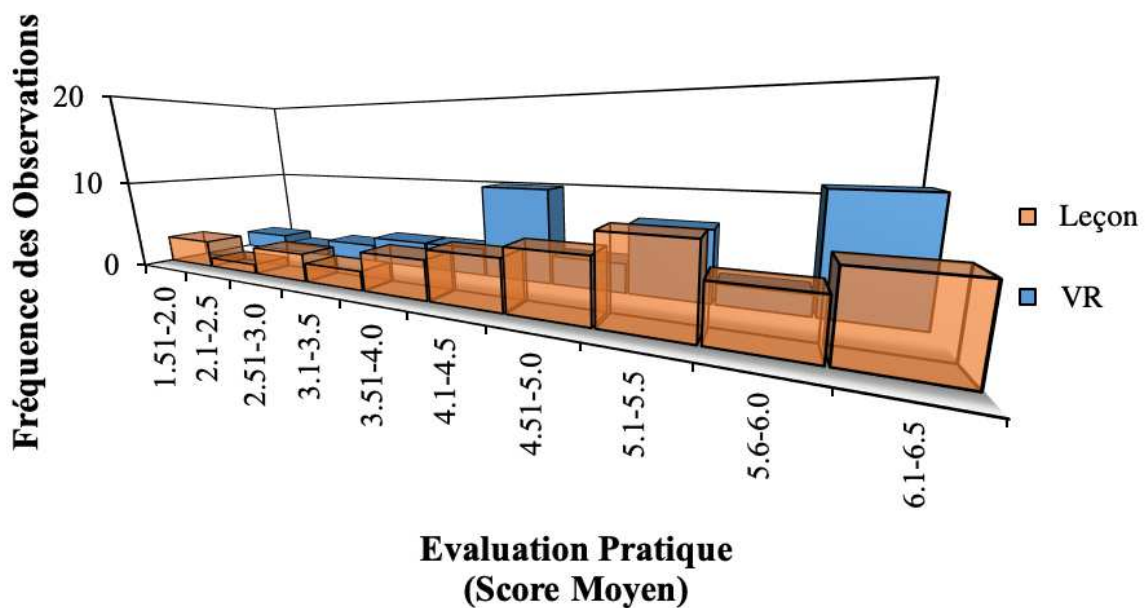


Fig. 13.B : Fréquence de distribution des scores moyens des groupes leçon (orange) et VR (bleu) sur l'évaluation pratique (Q9-Q14).
La distribution des deux groupes apparaît comme similaire.

On peut remarquer que, lorsque l'on compare les étapes comportementales pour réaliser la ponction lombaire avec précision, les participants du Groupe B ont réalisé l'expérience de façon significativement plus rapide que le Groupe A i.e., $p < 0.01$, en appliquant un seuil de 200 secondes. La Figure 14A illustre les durées de réalisation des participants avec un box plot et la 14B un histogramme. Le Groupe A présente une distribution polymodale et platykurtique (avec les temps les plus fréquents de réalisation de la ponction lombaire suivant les Modes = 0-100 s, 201-300 s, & 351-400 s), alors que les participants du Groupe B ont une distribution normale qui est positivement déviée, le temps le plus fréquent de réalisation de la ponction lombaire suivant les Modes = 0-100 s. Les scores des participants étaient pour le groupe A de Med = 240 s, M = 227.80 s, SEM \pm 34.34 et pour le groupe B, Med = 140 s, M = 153.26 s, SEM \pm 11.19 ; $p < 0.01$.

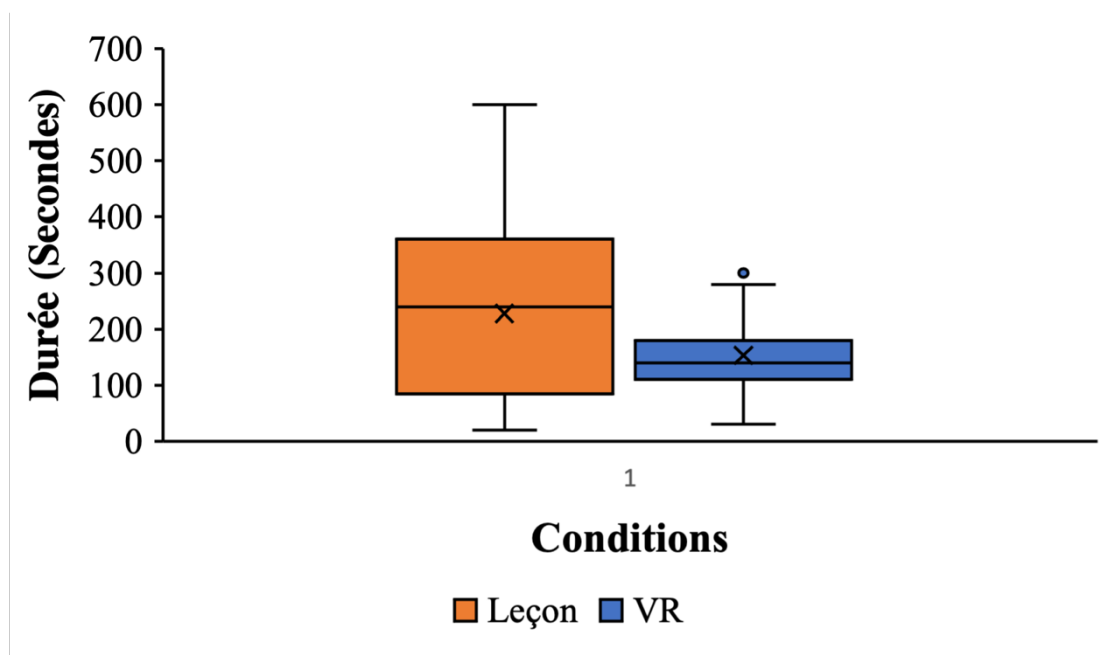


Fig. 14.A : *Durée de réalisation de la ponction lombaire pour chaque groupe. Les données sont présentées sous forme de box plot, les moustaches correspondent au quartile pour chaque distribution. Un seuil à 200 secondes montre une différence significative entre les deux groupes ($p < 0.01^{**}$), avec le groupe VR présentant une plus grande efficacité dans les compétences pratiques.*

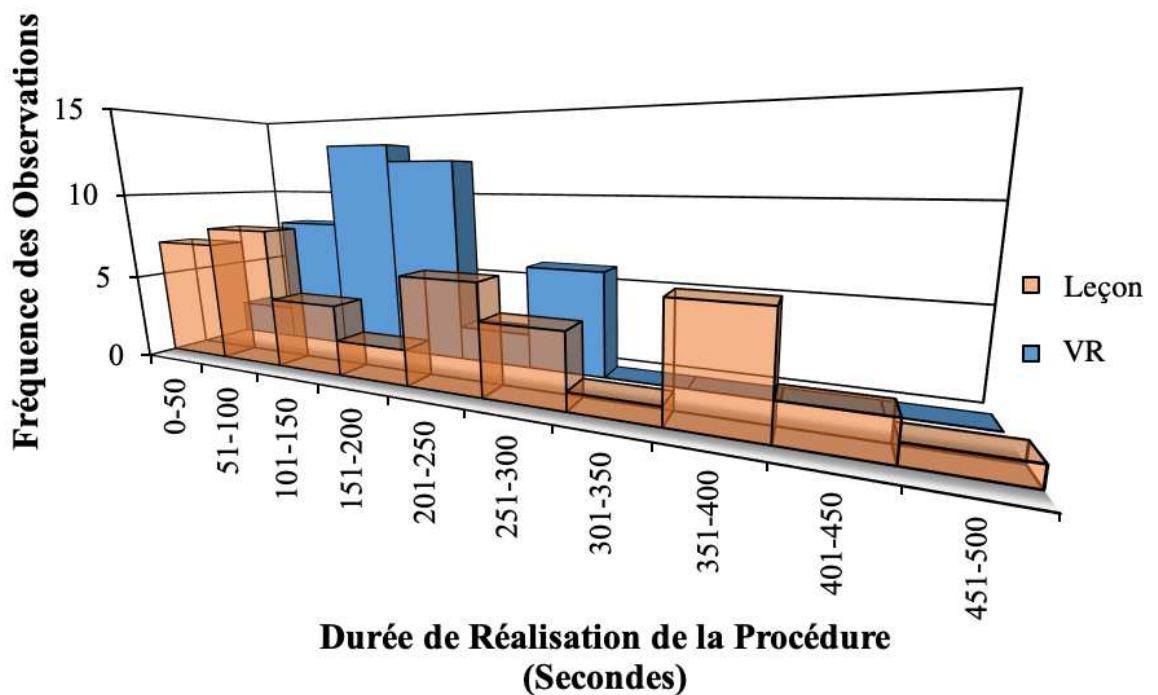


Fig. 14.B : Fréquence de distribution des durées moyennes de réalisation de la ponction lombaire des groupes leçon (orange) et VR (bleu).
 Le groupe VR présente une fréquence de distribution quasi-normale entre 0 et 250, alors que le groupe enseignement traditionnel présente une distribution plutôt polymodale. Les groupes présentent une distribution approximativement normale (surtout le groupe enseignement classique, entre 4.51 et 6.0).

Lorsqu'on regarde le nombre d'erreurs dans chaque groupe (Figure 15 A-C), les données révèlent que pour l'évaluation orale, 40% des participants du Groupe Classique (n = 24) ont fait des erreurs, en comparaison des 77% des participants du Groupe VR qui en ont commises (n = 70). Ainsi, les participants du Groupe VR ont quasiment réalisé 3 fois plus d'erreurs lors de l'examen oral avec une augmentation de 34% des erreurs comparé au Groupe Classique.

De façon très intéressante, le phénomène opposé est observé dans l'évaluation pratique, avec 73% des participants du Groupe Classique (n = 55) qui ont commis des erreurs, en comparaison des 50% du Groupe VR (n = 36). Environ deux fois plus d'erreurs ont été commises dans le groupe A Classique avec une augmentation de 23% des erreurs par rapport au groupe VR. Ainsi, l'influence pédagogique de la VR sur le nombre d'erreur commises par les participants dans

cette étude a montré que cela affectait négativement l'examen oral mais positivement l'évaluation pratique. En conclusion, les participants du groupe VR ont commis 34.39% d'erreurs en plus que le groupe classique lors des réponses aux questions, mais ont présenté une amélioration de 65% dans la réduction des erreurs lors de la réalisation de la procédure.

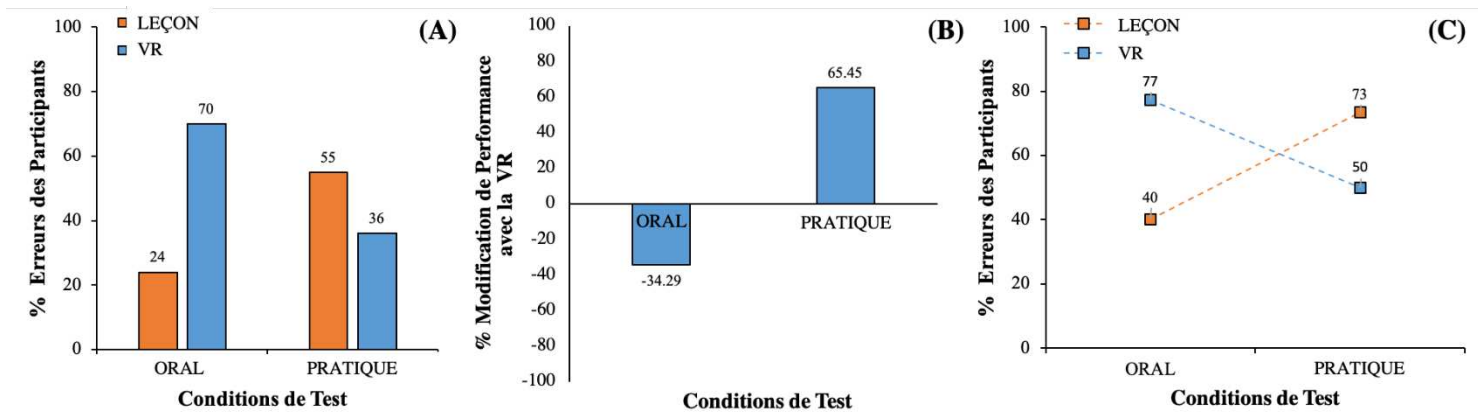


Fig. 15 : Comparaison des erreurs entre les groupes et les évaluations

(A), 46% des participants du Groupe VR ont commis des erreurs durant l'évaluation orale, mais 19% des participants ont montré une diminution des erreurs au cours de l'évaluation pratique.

(B), L'impact global sur les mesures de performance, montre que la VR a diminué les résultats de l'évaluation orale de 34.29% alors qu'elle a permis une augmentation des résultats de l'évaluation pratique de 65.45%.

(C), Une interaction est observée entre les groupes VR et classique depuis l'évaluation orale vers l'évaluation pratique. Ceci suggère que la combinaison de l'enseignement classique et de la VR peut augmenter la valeur pédagogique d'un programme pour l'apprenant.

4.3.3. ANALYSE DETAILLÉE

Dans ce travail nous nommons le tutoriel immersif en réalité virtuelle IVRA-FPV pour Immersive Virtual Reality Application – First Person View afin de le différencier des autres environnements créés en réalité virtuelle.

Nous avons reporté en 2020 (Ros et al., 2020a) que l'utilisation de l'IVRA-FPV améliore la rétention des étudiants concernant les connaissances pratiques. En cohérence avec ce travail,

cette étude a aussi démontré que l'utilisation de tutoriels IVRA-FPV pour apprendre une procédure médicale peut accélérer le processus d'apprentissage : réduire la latence pour apprendre la procédure médicale et diminuer le temps pour généraliser cette procédure à des situations du monde réel. Il est aussi important de relever qu'il y avait une nette tendance pour la significativité statistique pour le Groupe VR lors de la réalisation de la procédure en comparaison au Groupe Classique. Si l'échantillon avait été plus important nous aurions obtenu cette significativité. Lors de l'évaluation de la compréhension orale sur le contenu de la leçon les participants ayant assisté au cours Classique ont mieux répondu que le groupe VR. Toutefois, quand les participants ont été évalués sur leur capacité à appliquer et à généraliser les étapes comportementales sur mannequin, il n'y avait pas de différences observées entre l'enseignement Classique et le groupe VR. De façon intéressante, cette étude a montré que grâce à la VR, la latence de réalisation de la procédure de ponction lombaire réduisait la variabilité de distribution dans l'échantillon de participants, augmentant les mesures de tendance centrale, et déviant la population vers la gauche la rendant plus normative en comparaison du groupe traditionnel.

Résultats de l'évaluation orale

Le diaporama utilisé par l'enseignant était intégré dans l'environnement en réalité virtuelle (à gauche de l'écran principal) sans utiliser les diapositives qui correspondaient à l'aspect technique. La voix-off demandait initialement aux étudiants de regarder et de lire ce power-point, mais sans ajout de commentaires supplémentaires. Fowler (2015) insistait sur le besoin d'amener à provoquer dans un environnement VR un sentiment de présence (l'utilisateur sent qu'il est dans cet environnement artificiel) de co-présence (l'utilisateur sent qu'il est en présence d'une autre personne dans cet environnement) pour donner l'illusion à l'utilisateur que la situation artificielle est réelle, et ainsi augmenter l'authenticité de l'expérience et en

retour en augmenter la valeur pédagogique. Il est important de relever qu'il manque cet aspect critique immersif dans la simple lecture du diaporama. Au cours de l'apprentissage pratique médical, le transfert de connaissances expérientielles anecdotiques complètent fréquemment ce genre de matériel pédagogique au cours des leçons. Ajouter des commentaires spécifiquement sur chaque diapositive pourrait avoir facilité la mémorisation du contenu correspondant aux connaissances de base de cette procédure médicale. Certains travaux ont montré que peut être, le processus de mémorisation aurait pu être encore plus amélioré s'il y avait eu une représentation additionnelle de l'enseignant dans une autre vidéo ajouté au power-point. En effet, il a été montré que cela permettait de réduire la charge cognitive et d'augmenter ainsi la rétention des connaissances (Chen & Wu, 2015). Certaines études sur la VR ont cherché à tirer entièrement parti des bénéfices apportés par l'environnement digital en ajoutant un avatar plutôt qu'une personne réelle (Ai et al., 2002; Kurrilo et al., 2011) .

Dans la présente étude, l'expérience a été conçue avec la capacité d'avoir des notes rapides disponibles au sein de l'environnement de l'IVRA-FPV sans que ce ne soit pensé comme un cours théorique. Dans la littérature il est apparent qu'en dehors de la qualité ou de la créativité liée au design instructionnel dans les performances d'apprentissage, le rôle de l'enseignant dépasse un quelconque power-point ou commentaire. Toutefois, il est important de relever que, en fonction de l'enseignant, l'interaction directe entre l'enseignant et l'étudiant restera d'une plus grande valeur. L'IVRA-FPV apparaît comme un outil pédagogique unique qui permet de s'approcher le plus de la problématique rencontrée dans la vraie vie et rejoint le bénéfice apporté par la VR en général par rapport à une salle de classe traditionnelle.

Résultats de l'évaluation pratique

La présente étude a montré que l'évaluation pratique, étape après étape, n'a pas montré de différence entre la leçon traditionnelle et l'IVRA-FPV. Smith et al. (2018) ont comparé la

valeur pédagogique d'utiliser différents outils complémentaires (Images de Synthèse dans IVRA, projetées sur un écran 2D, ou avec des notes écrites), en addition de visionner une vidéo, pour apprendre une procédure médicale (en l'occurrence un ensemble de compétences de décontamination). Ils ont évalué l'ensemble des compétences comportementales au cours de la généralisation de la procédure médicale sur un mannequin. Afin de quantifier la performance de cette généralisation ils ont mesuré la précision avec laquelle les différentes tâches étaient réalisées, ainsi que la durée de réalisation. Ils n'ont pas réussi à identifier une différence significative des résultats d'apprentissage à la fin du semestre dans un groupe, et à la moitié du semestre dans un autre groupe, lorsqu'ils étaient comparés avec l'IVRA. De façon surprenante, à mi-semestre, le groupe non IVRA a obtenu de meilleurs résultats non significatifs (en cohérence avec les résultats de la présente étude). Alors que l'étude de Smith et al. (2018) était très bien conçue, il n'est pas clair pourquoi ils ont choisi de comparer ces groupes avec de la vidéo comme un ajout supplémentaire à l'expérimentation car cela peut conduire à d'autres biais. Dans notre précédente étude l'IVRA-FPV était comparée seulement avec des notes écrites. Dans celle-ci, il a été comparé à une leçon, sans notes écrites. Le domaine de l'utilisation pédagogique de la VR évolue rapidement et dans de multiples directions, il faut prendre garde et évaluer de façon systématique les différents outils pédagogiques pour mieux comprendre l'impact de chacun et leur valeur correspondante pour l'apprenant. Finalement, dans de futurs travaux, il nous semble intéressant de comparer la valeur de la vidéo avec la VR. En tout cas, la valeur pédagogique de l'IVRA-FPV semble être qu'elle apporte le même niveau de résultats qu'avec une leçon classique, mais avec l'acquisition de compétences comportementales dans un laps de temps plus réduit et avec une plus grande précision.

Évaluation des erreurs d'apprentissages entre la leçon Classique et la VR

Il était intéressant d'étudier la relation et les influences pédagogiques de l'IVRA-FPV sur le nombre d'erreurs commises par les participants des deux groupes au cours des évaluations orales et pratiques. L'intention à l'utilisation de la VR dans notre étude, n'est pas de remplacer la leçon traditionnelle avec la VR, mais plutôt d'apporter une dimension différente d'apprentissage pour optimiser l'acquisition de nouvelles compétences. Ici l'écart vu avec le groupe leçon au cours de l'évaluation pratique pourrait être résolu en utilisant la VR comme une intervention pédagogique supplémentaire après que l'instructeur ait expliqué la théorie au cours d'une leçon. Les données révèlent que le groupe VR a eu de moins bons résultats concernant la partie asepsie (Q2 et Q3). Cette observation correspondait au début de la vidéo et, peut-être qu'au début de cette immersion, les étudiants n'étaient pas complètement concentrés comme c'était la toute première fois qu'ils avaient accès à ce type d'expérience FPV 180 degrés.

Cette situation pourrait être résolue dans de prochaines études avec un module pré-test qui correspondrait selon l'utilisateur à un temps d'ajustement/calibration (ou d'acclimatation/accoutumance). Certains participants ont rapporté qu'après avoir fini la formation, ils auraient aimé que l'expérience VR dure plus longtemps et que la vidéo en elle-même prenne plus de temps à expliquer la procédure. En effet, lorsque le tutoriel a été conçu, les différents temps de l'expérience correspondait au temps réel de réalisation. Peut-être que pour certaines approches montrant un nombre important d'étapes pratiques, il conviendrait de les démontrer plus lentement, les décomposer. Le risque ici est de ne pas prendre en compte la durée réelle. Même si les participants avaient la possibilité d'avancer ou de revenir sur certains chapitres, lorsque l'expérience était finie, ils enlevaient généralement le casque. Nous avons par ailleurs relevé que la section sur l'asepsie, le positionnement du champ stérile, est le contenu d'apprentissage qui a posé le plus de problème pour les 2 groupes (Q10).

De façon remarquable, le groupe VR a mieux exécuté Q9 “repérage du point de ponction”, Q10 “prise de l’aiguille” et Q14 “retrait de l’aiguille”, qui sont les compétences qui nécessitent une prise de conscience spatiale dans l’apprentissage. Pour le retrait de l’aiguille, aucune erreur n’a été observée dans le groupe VR, de ce fait on peut considérer que l’apprentissage par la VR a permis entièrement l’acquisition de cette compétence. Étonnamment, cette étude a montré que le groupe VR a eu besoin de plus de tentatives pour extraire le LCR, ce qui est contre-intuitif avec les autres résultats. En effet, même s’ils ont nécessité plus de tentatives ils ont réalisé la procédure plus rapidement (60% de réduction du temps). Ceci est potentiellement dû à l’utilisation répétée du même mannequin. Du fait de contrainte de coûts pour obtenir plus de mannequins et du temps passé en classe, chaque groupe n’a bénéficié que d’un seul mannequin. Ceci est une limitation pratique de l’étude et suggère que les futures études devraient aussi évaluer les différences entre les mannequins utilisés pour l’apprentissage. Malgré tout, on doit garder à l’esprit que même si une étude permettait de comparer ces mannequins, une telle généralisation au vivant ne pourraient pas s’appliquer ensuite étant donné que la variabilité entre les individus est bien plus grande que celle que les mannequins peuvent offrir. Ainsi, dans ce contexte pédagogique, nous évaluons la valeur, quoique potentiellement contrainte, d’enseigner une procédure médicale pour qu’elle soit réalisée de façon plus efficiente avec moins d’erreurs, en tant que principale mesure du résultat d’apprentissage. Étant donné que chacune de ces étapes est importante à réaliser dans cette procédure pratique (c’est-à-dire le repérage, l’insertion et le retrait de l’aiguille), il est critique que la ponction lombaire soit faite rapidement et sans erreur pour prévenir la douleur chez le patient. Ainsi, la valeur pédagogique de l’intervention en VR dans cette évaluation pratique a été de diminuer l’ensemble des erreurs pratiques, réduire la durée de la procédure et, en tant que résultat pédagogique généralisable, rendre la procédure plus efficiente et plus précise.

Durée de réalisation de la procédure de ponction lombaire

Les résultats de la présente étude corroborent ceux de Dardick et al. (2019) qui ont montré que la formation avec simulation VR améliore l'apprentissage d'une procédure médicale en réduisant la latence pour réaliser correctement l'ensemble des compétences comportementales nécessaires. La plus importante différence entre notre étude et la leur est que le matériel utilisé n'est pas le même : il s'agissait d'un mix entre un simulateur physique et une projection en réalité virtuelle. De plus, la réalité virtuelle présentée dans leur étude n'est pas immersive. A notre connaissance, il s'agit de la première fois que la durée de réalisation a été mesurée. Une récente revue de la littérature par Sheik-Ali parlait plus de la vitesse d'acquisition de la technique chirurgicale que de la vitesse de réalisation. Ils concluent que la majorité des études qu'ils ont évalué montraient un impact positif et une relation linéaire entre l'utilisation de la VR/AR sur l'apprentissage chirurgical et le gain de compétences. Malgré tout encore beaucoup de travail reste nécessaire. Il est en effet important de noter que les outils, les analyses et les résultats mesurés étaient bien différents. Il n'y avait par exemple qu'un outil immersif, alors que les autres étaient non immersifs (projetés sur un écran plat) ce qui rend incomparable ces résultats avec l'IVRA-FPV présenté dans notre étude.

Standardisation du message délivré

De façon comparable au e-learning, Ruiz et al. (2006b) ont montré que l'utilisation d'environnements VR immersifs standardise le contenu éducationnel et apporte la même information et la même expérience d'apprentissage à tous les étudiants. L'expérience pédagogique reprend le programme conventionnel mais peut potentiellement même aller au-delà et aider l'apprenant à repousser ses limites. Nous voyons se dessiner dans nos résultats cette standardisation avec une forme d'homogénéisation du groupe VR dans son comportement

de réponse. Ceci est considérablement visible lorsque l'on considère la déviation standard mesurée sur la vitesse de réalisation de la procédure.

En tout état de cause les résultats montrent que l'apprentissage gestuel de la ponction lombaire par la VR est équivalent à l'apprentissage par l'enseignement traditionnel et même meilleur au niveau de la rapidité. L'enseignement traditionnel de haute qualité en formation initiale et en formation continue n'est pas possible sur le plan économique et/ou sur le plan pragmatique dans tous les pays du monde. La VR permet de former à l'apprentissage de gestes identiques à tous les endroits de la planète. Cela étant il est intéressant de souligner que la VR permet sans risque d'expérimenter, de jouer, de prendre les choses en main et de construire en autonomie l'apprentissage gestuel chirurgical. Ce que ne permet pas l'enseignement traditionnel. « Si le pédagogue explique trop il empêche l'élève d'inventer. L'adulte devrait proposer à l'élève un milieu riche et construit des situations favorables à l'émergence de conflits cognitifs qui permettent l'apprentissage » (Gatto, 2006).

Les précédentes études prospectives ont permis de prouver l'utilité du tutoriel immersif en réalité virtuelle dans le cadre d'un apprentissage pratique pour des gestes techniques. Nous avons ensuite tenté d'étudier la possibilité d'un déploiement à large échelle. Nous avons mis à profit notre méthode de création de contenu pour apporter une aide aux professionnels de santé au cours du premier pic de la crise sanitaire que nous traversons. Nous avons pu obtenir un retour de la part de nombreux utilisateurs que nous présentons.

4.4. APPLICATION DU TUTORIEL IMMERSIF A GRANDE ECHELLE :

Étude Publiée (Annexe 5):

Increasing Global Awareness of Timely COVID-19 Healthcare Guidelines Through FPV Training Tutorials: Portable Public Health Crises Teaching Method.

(Augmenter en un Temps Restreint la Sensibilisation Globale aux Directives COVID-19 grâce à des Tutoriels en Point de Vue à la Première Personne : Méthode d'Enseignement Portable en Cas de Crise de Santé Publique)

Ros M., Neuwirth L.S.

Nurse Education Today, Elsevier, 2020.

4.4.1. CRISE SANITAIRE

Le temps de réaction n'a jamais été autant crucial que pendant la pandémie du coronavirus qui a amené à une rapide utilisation de la technologie à cause des obligations de distanciation. Cela a aussi mis en évidence et augmenté un ensemble de défis pour les systèmes de santé publiques afin de se coordonner avec les autres pays de façon globale. Cette situation est sans précédent. La préoccupation majeure a été de concentrer les efforts en vue de limiter les sources de contamination au sein de la population. Il a par exemple initialement été décidé de n'envoyer uniquement à l'hôpital que les patients symptomatiques. Le rationnel à cette stratégie était de ne pas déborder les capacités hospitalières pour leur permettre de prendre en charge et de délivrer les soins adéquats, c'est ce qui correspond à l'aplatissement de la courbe en phase initiale (Branas et al., 2020). Face à la montée du COVID-19 à laquelle le monde est en train de faire face, il y a un besoin urgent de former rapidement de nombreux professionnels de santé

pour adapter leur travail selon les recommandations pour lutter spécifiquement contre ce virus (World Health Organization [WHO], 2020). Afin d'apporter des soins appropriés à cette situation, les professionnels doivent tout d'abord se protéger eux-mêmes et ensuite éviter la diffusion du COVID-19 entre patients, personnes, ou via des surfaces contaminées (Huh, 2020). Cette prise en charge contrôlée nécessite en permanence une adaptation du lieu de travail, de l'hygiène et des pratiques pour permettre aux professionnels de travailler en toute sécurité dans un environnement hospitalier qui sera contaminé par le COVID-19 du fait des patients. De plus, selon les hôpitaux, les professionnels de santé font aussi face à un manque de personnel (du fait de la nécessité de renforcer le personnel – manque relatif - mais aussi du fait que certains d'entre eux contractent la maladie – manque absolu), il s'agit d'un facteur contribuant au débordement des capacités hospitalières (Adams & Walls, 2020).

Afin de faire face à ces défis, certains professionnels de santé se sont vus transférés, redéployés (de façon sélective ou non sélective) pour travailler dans un environnement différent (entre services, villes, parfois pays) et parfois en dehors de leur spécialité d'origine. Dans certains cas où le manque de personnel s'accroît et voyant la tendance au débordement, des étudiants en médecine ou en soins infirmiers ont été diplômés plus tôt afin de venir renforcer les effectifs (Harvey, 2020). Un problème fondamental directement relié à ces manques en professionnels de santé durant la crise COVID-19 est comment les systèmes de santé peuvent former de façon adéquate un si grand et divers groupes de professionnels en une si courte période ? Les professionnels au front doivent être préparés du mieux possible pour prendre en charge les patients. Selon les endroits, certains ont eu le temps d'être formés dans un environnement simulé, d'autres ont eu accès à des cours en ligne (Rose, 2020). Réduire la proximité non nécessaire que l'on retrouve dans les formations en classe est aussi cohérent avec les obligations de distanciation.

Toutefois, une réelle question surgit de la qualité de ces formations : qu'en est-il de la capacité d'acquérir et/ou d'appliquer de nouvelles compétences comportementales dans un environnement réel à partir de ces formations. D'autant plus, dans un environnement changeant. Ainsi, afin de résoudre de façon appropriée cette problématique, nous avons utilisé notre méthode pour créer rapidement un contenu éducatif qui peut être déployé de façon adéquate, efficace et pertinente pour soulager au mieux les problématiques auxquelles font face les hôpitaux, les professionnels de santé, les patients.

Les centres hospitaliers et les professionnels de santé ont utilisé des vidéos pour partager leurs solutions et leur expertise au sein de leurs communautés. Notamment certaines sociétés scientifiques qui ont produit des cours en ligne avec du contenu vidéo pour aider à expliquer et traduire dans la vraie vie les comportements qu'ils souhaitaient voir adopter (comment mettre en place et retirer un équipement de protection individuelle pour réduire les risques de contamination par exemple – Habillage/Déshabillage (CH de Grasse, 2020; SFAR, 2020). Il est important de dire que le contenu vidéo est plus facile à créer et à déployer mais qu'il offre une approche passive qui peut faire défaut au niveau de l'engagement (c'est à dire d'un manque d'attention soutenu par l'apprenant). Ce point est critique, car cela pourrait être à l'origine de défauts dans l'apprentissage attendu. Nous avons – Ros et al. (2017a, 2017b, 2020c) - décrit un moyen plus engageant et pertinent de créer et développer un contenu pédagogique vidéo pour acquérir de nouvelles compétences grâce: 1/ point de vue à la première personne; 2/ des modules chapitrés courts 3/ des données pédagogiques additionnelles renforçant l'apprentissage de nouvelles compétences comportementales. Cette méthode a initialement été décrite en utilisant une application en réalité virtuelle immersive (qui nécessite un casque de réalité virtuelle), mais qui peut aussi être déployée de façon plus économique et efficace sur téléphone. Du fait de cette situation sans précédent, nous avons anticipé la sortie d'une nouvelle catégorie de vidéos pour les professionnels de santé afin de transmettre rapidement à grande

échelle les recommandations sanitaires et fournir rapidement un contenu de formation qui peut être utilisé sur smartphone pour augmenter l'efficacité, la transférabilité et la fiabilité du déploiement des recommandations.

4.4.2. PROTOCOLE

Nous avons appliqué la méthode décrite en 2017 (Ros et al., 2017a, 2017b) pour les techniques chirurgicales mais avec le but de l'appliquer à une audience plus large de professionnels de santé. En réponse à la pandémie du COVID-19, 8 nouveaux tutoriels ont été créés et déployés en une semaine. Ils ont été réalisés spécifiquement pour les professionnels prenant en charge les patients COVID-19.

Les premiers tutoriels ont été produits en dehors de l'hôpital :

- Bonnes pratiques de désinfection des mains avec une solution hydro-alcoolique ;
- Bonne pratiques et fonctions pour l'utilisation des masques de protection ;
- Gazométrie artérielle pour les patients COVID-19 + ;
- Habillage/Déshabillage "Contact-Gouttelettes" ;
- Prélèvement naso-pharyngé.

Ensuite des tutoriels ont été enregistrés dans un centre de simulation médicale sur mannequin :

- Intubation Endo-trachéale chez un patient positif au COVID-19 ;
- Extubation Endo-trachéale chez un patient positif au COVID-19 ;
- Réanimation cardio-respiratoire chez un patient positif au COVID-19 ;

Enfin le dernier tutoriel a été produit directement en réanimation :

- Allumage d'un respirateur.

Deux tutoriels doivent encore être produits :

- Aspiration close chez un patient intubé ;

- Décubitus Ventral (nous l'avions déjà enregistré, mais dans une salle opératoire, pas dans le cadre de la réanimation).

Les tutoriels ont été déployés pour être facilement accessible via l'application Revinax Handbook sur smartphones iPhone et Android. La figure 16 représente l'interface.

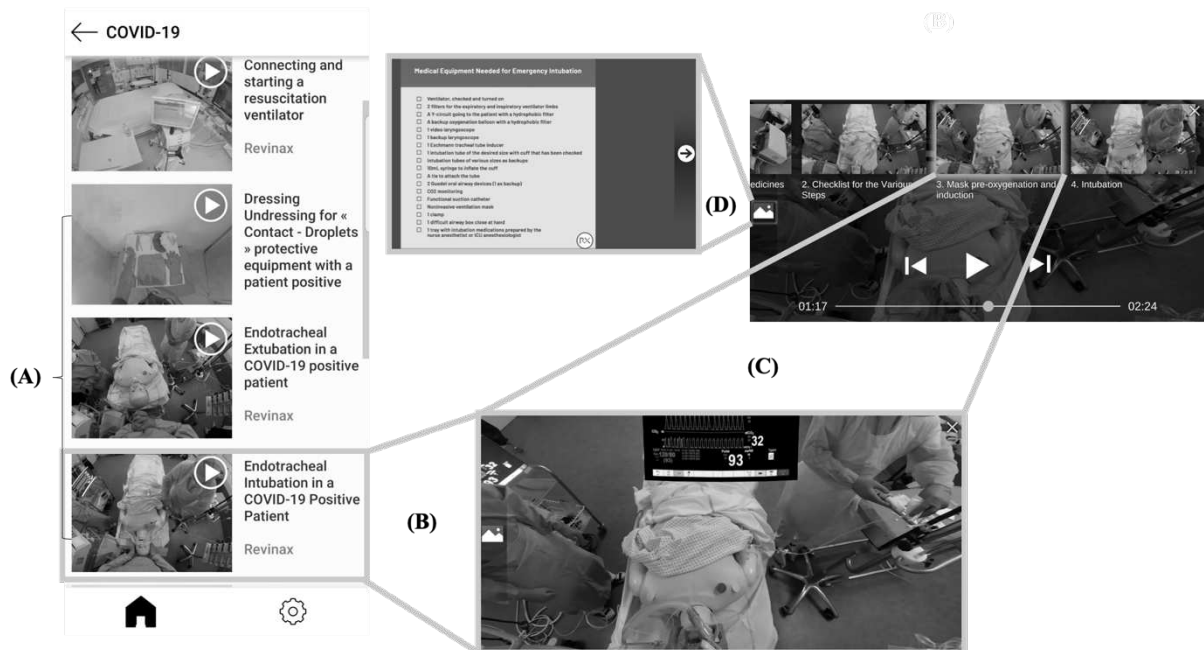


Fig. 16 : Capture d'écran de l'application mobile
(A) interface utilisateur montrant la bibliothèque de contenu.
(B) Film en point de vue à la première personne (Intubation Endo-Trachéale chez un patient positif au COVID-19).
(C) montre les différents chapitres qui correspondent aux différentes étapes de la procédure.
(D) est un exemple de contenu additionnel accessible à l'utilisateur en tapant sur l'icône qui est à gauche de l'écran.

Après le téléchargement et l'utilisation des tutoriels, il a été demandé aux professionnels de répondre à un questionnaire pour obtenir leur retour.

Les questions étaient :

- Est-ce que l'application Revinax est d'un bon soutien pour gagner en compétence ? (réponse de 1 "pas du tout" à 10 "absolument")
- Avez-vous mieux compris certains gestes à l'aide des tutoriels ? (Oui ou Non)
- Plus spécifiquement, les tutoriels de la catégorie COVID-19 ont-ils participé à vous sentir prêt(e) pour ces prises en charge ? (réponse de 1 "pas du tout" à 10 "absolument")
- Plus généralement les tutoriels répondent-ils à vos besoins de formation en ce moment ? (pas du tout / pas tellement / plutôt / tout à fait)
- Après avoir vu un tutoriel, vous sentez-vous confiant pour réaliser le soin vous-même ? (pas confiant du tout / pas trop confiant / assez confiant / confiant)
- Recommanderiez-vous l'application Revinax ? (Oui / Non)

4.4.3. RESULTATS

En un mois l'application a été téléchargée par 12 516 utilisateurs (représentant 3219 téléchargements par semaine, 447/j, 18,63/h démontrant ainsi une demande émergente et croissante). Sur les 12 516 téléchargements, 2 671 venaient d'utilisateurs non qualifiés (21.24%). Parmi les 9 845 restants, 8 729 étaient identifiés comme étant des infirmiers/ ou étudiants infirmiers (69,74% de l'ensemble des utilisateurs et 88,66% des utilisateurs qualifiés), et 1 116 représentaient un ensemble de médecins, étudiants, aides-soignants et non définis du domaine de la santé (8,92%). La figure 17 illustre la démographie des utilisateurs qualifiés de l'étude.

Parmi les 8 941 infirmiers qui ont téléchargé l'application, 5921 (66,22%) ont signalé être des infirmiers diplômés (parmi lesquels 5 310 avait le statut d'Infirmier Diplômés d'État [89,68%], 226 sont des Infirmiers de Bloc Opératoire Diplômés d'État [3.82%], et 173 sont des Infirmiers Anesthésistes Diplômés d'État [2.92%]). De plus parmi les 8941 infirmiers, 3020 étaient étudiants (33.78%). Parmi eux 2 837 n'étaient pas spécialisés (93.94%), alors que 121 étaient

spécialisés en anesthésie (4.01%) et 62 étaient spécialisés pour le bloc opératoire (2.05%). Parmi les 904 finaux, 38,94% se sont déclarés aides-soignants, 311 étudiants en médecine (34.40%) et 241 médecins (26.66%).

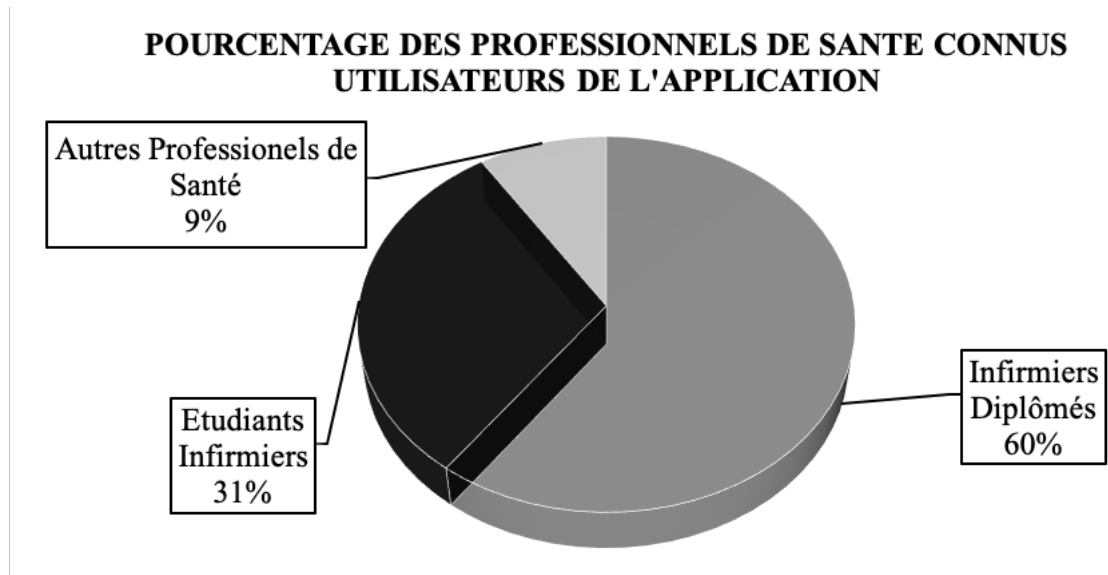


Fig.17 : Démographie des utilisateurs qualifiés de l'application.
2/3 des utilisateurs sont des infirmières diplômées, 1/3 des étudiants. Les autres professionnels de santé représentent 9% des utilisateurs.

Nous avons adressé le questionnaire aux 12 516 personnes qui ont téléchargé l'application, et ce pendant 72h, nous avons obtenu 366 réponses. Durant cette même période, le nombre de nouveaux inscrits a été de 512 (c'est à dire 122 réponses par jour pour un nombre estimé de 171 téléchargements par jour – ceci correspond à un taux de réponse de 71.48% avec une marge d'erreur de +/- 10%, ce qui rend ces résultats statistiquement significatifs). Il est remarquable, en plein milieu de la crise du COVID-19, que les utilisateurs aient trouvé l'application utile et aient pris le temps de répondre au questionnaire. Il s'agit d'un point critique car il est difficile

habituellement d'obtenir des retours de questionnaires, et nous aurions pu nous attendre à des chiffres bien plus bas étant donnée la pandémie. De plus, 95% ont donné un score supérieur ou égal à 5 concernant le gain de compétences, et 89% ont répondu que cela correspondait à leur besoin de formation. Par ailleurs, 94% ont considéré que cela leur permettait de mieux comprendre et 89% se sentaient plutôt ou très confiant pour réaliser des procédures après avoir eu accès aux tutoriels. Enfin, 95% ont indiqué que les tutoriels réalisés spécifiquement dans le cadre du COVID-19 leur ont permis de se sentir prêts à prendre en charge ces patients et 95% d'entre eux recommandent l'application.

La présente étude avait pour but d'évaluer l'intérêt, l'usage et le potentiel de tutoriels FPV COVID-19 pour les professionnels de santé durant une pandémie pour apporter une réponse à un problème de santé global à l'aide de la diffusion d'un outil technologique. Les résultats de ce complément pédagogique ont montré qu'il a été bien reçu par les infirmières qui étaient en première ligne et par les futurs infirmiers. De plus, ceci permet aux professionnels de santé une grande flexibilité dans l'apprentissage initial, pour revoir et réviser au besoin grâce à un outil puissant permettant de transférer les procédures médicales. Il peut y avoir des limitations à cette technologie étant donné que tous les pays et tous les hôpitaux n'emploient pas les mêmes procédures, ce qui doit être pris en considération. Toutefois, pour la plupart, ces tutoriels ont été développés en gardant à l'esprit les applications les plus universelles possible pour aider à limiter cette problématique. De plus, ces tutoriels ont été traduits depuis le Français et l'enregistrement de voix-off a débuté en Anglais, en tant que langage universel, pour être déployé dans d'autres pays. Pour finir, il est mieux d'être prêt à affronter l'urgence et d'avoir ce matériel déjà disponible. Notre outil a permis d'offrir une réponse efficace et rapide à un problème majeur de santé publique en proposant la diffusion d'outil technologique pour aider à soulager le débordement que les hôpitaux, les professionnels de santé, les patients ont expérimenté pour faire face à la pandémie du COVID-19.

Généralement les tutoriels répondent-ils à vos besoins de formation en ce moment ?

Réponses	Total	%
Tout à fait	136	37%
Plutôt	189	52%
Pas tellement	32	9%
Pas du tout	9	2%

Après avoir vu un tutoriel, vous sentez-vous confiant pour réaliser le soin vous-même ?

Réponses	Total	%
Très Confiant	58	16%
Assez confiant	267	73%
Pas trop confiant	32	9%
Pas du tout confiant	9	2%

A quelle fréquence utilisez-vous l'application ?

Réponses	Total	%
Plus d'une fois par jour	17	5%
Une fois par jour	55	15%
Une fois par semaine	233	64%
Une fois par mois	61	17%

A quelles occasions regardez-vous les tutoriels ?

Réponses	Total	%
A la maison	303	82%
Pendant mes temps de pause	39	10%
Juste avant un soin	8	2%
Autre	16	4%

Comment trouvez-vous l'usage de l'application ?

Réponses	Total	%
Très facile	147	40%
Plutôt facile	184	50%
Assez difficile	25	6%
Très difficile	10	2%

Avez-vous mieux compris certains gestes à l'aide des tutoriels

Réponses	Total	%
Oui	341	94%
Non	25	6%

Est-ce que l'application Revinax est d'un bon soutien pour gagner en compétences ? (note de 1 à 10)

Réponses	Total	%
5-10	353	95%
1-4	8	5%

Les tutoriels de la catégorie COVID-19 ont-ils participé à vous sentir prêt pour ces prises en charge? (note de 1 à 10)

Réponses	Total	%
5-10	338	95%
1-4	16	5%

Recommanderiez-vous l'application Revinax ?

Réponses	Total	%
Oui	349	95%
Non	17	5%

Table 6 : Résultats du questionnaire adressé aux utilisateurs de l'application.

Les précédentes études prospectives ont permis de démontrer l'utilité du tutoriel immersif, la possibilité de produire rapidement du contenu et de le déployer à grande échelle. Nous avons alors porté notre réflexion sur l'intégration de la VR en tant qu'outil pédagogique dans un programme de formation.

5. INTEGRER LA VR DANS UN PROGRAMME DE FORMATION

Étude Publiée (Annexe 6)

Virtual Reality Stereoscopic 180-Degree Video-Based Immersive Environments:

Applications for Training Surgeons and Other Medical Professionals

(Environnements de Réalité Virtuelle Immersive Basée sur des Vidéos

Stéréoscopiques à 180 Degrés: Application pour Former les Chirurgiens et les

Autres Professionnels Médicaux)

Ros M., Weaver L., Neuwirth L.S.

Cases on Instructional Design and Performance Outcomes in Medical Education,

IGI 2020

5.1. EVITER LE RISQUE PEDAGOGIQUE

5.1.1. EFFETS ADVERSEES DE LA REALITE VIRTUELLE

Il faut fréquemment passer un premier cap lié à la découverte de ce monde nouveau. Ceci peut donner lieu à une sensation de “vertige” qui est à différencier de la cinétose (« motion sickness » en Anglais). La nausée et les sensations de malaise (motion sickness ou cybersickness) peuvent apparaître pour une période temporaire quand des participants sont immergés dans un environnement VR (Concannon et al., 2019; Kamińska et al., 2019). La cinétose est la décoordination entre ce que perçoit le cortex visuel qui est différent de ce que perçoit le système vestibulaire de l'équilibre. Cela se produit lorsque les mouvements du participant dans la VR ne concordent pas avec ses mouvements dans le monde physique (mismatch kinesthésique). Assimilable au mal des transports, il peut être difficile à supporter mais l'on peut s'y habituer. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à ce genre de sensation en VR. En premier lieu, le casque utilisé : sa résolution, le taux de rafraichissement (nombre d'images par secondes) sont parmi les plus importants. Vient aussi la qualité du contenu : images/secondes, résolution, mouvements induits. Malgré tous les progrès techniques, une partie de la population ne peut pas y échapper. Lors de notre première étude, l'un des chirurgiens avait un antécédent de névrite vestibulaire (atteinte inflammatoire du nerf vestibulaire véhiculant les informations de l'équilibre) et avait beaucoup de mal à supporter l'expérience. Dans son cas à lui, il ne pourra vraisemblablement supporter une cinétose qu'après une importante rééducation. Le vertige qui peut être ressenti n'est pas lié à une cinétose. Il se rapprocherait peut-être d'une forme de ce que les Anglais appellent le « cyber-sickness » le mal de l'univers informatique. Présenté comme une sensation de vertige elle apparaît comme une sensation d'étrangeté à la découverte d'un nouvel environnement. Nous nommons ce vertige le “first diving vertigo”. Un peu comme lorsque l'on plonge pour la première fois la tête sous l'eau équipé d'un masque et d'un tuba.

Ce n'est pas pour rien que l'on dit d'ailleurs "plonger" dans une expérience. Il faut donc prendre un moment, mettre le casque sans l'attacher, puis le retirer, reprendre conscience de l'environnement avant de se relancer. Sortir la tête hors de l'eau avant de replonger. In fine, probablement beaucoup de personnes ayant ressenti un malaise durant une première utilisation de la VR ne le ressentiront peut-être plus.

5.1.2. BIAIS LIÉS À L'UTILISATION D'UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE VR

Les étudiants qui ont contribué aux études sont en cours de formation. L'étude sur la dérivation ventriculaire externe (Ros et al., 2020a) a été réalisée au cours d'une formation ayant trait aux neurosciences, au cours de laquelle la connaissance de ce geste comme outil thérapeutique est au programme, mais ne doit pas être connue comme nous leur avons demandé de l'apprendre. Ce n'est qu'un petit nombre, 11 au total sur les 176 qui avaient déjà assisté à cette procédure au bloc opératoire, et un nombre encore inférieur qui auront à la réaliser : ceux qui deviendront neurochirurgien. L'intérêt pédagogique dans cette étude n'était pas tant la réalisation, que de marquer les esprits pour donner une meilleure compréhension. Par contre, la ponction lombaire elle, est au programme et doit être sue de tous. Les étudiants auront à la réaliser dans les services hospitaliers ensuite. Il ne fallait surtout pas prendre le risque d'avoir un enseignement défaillant pour le seul fait de réaliser une étude pédagogique. Le questionnaire initial et l'examen en lui-même ont été faits en ayant ce risque à l'esprit. L'examineur devait accompagner l'étudiant pour s'assurer qu'il avait compris, qu'il savait où il en était. Un débriefing était ensuite réalisé reprenant les points sur lesquels l'apprenant avait été performant, et ceux sur lesquels il avait été hésitant en apportant des réponses, en allant même plus loin dans certaines explications de façon adaptée à chaque individu.

Nous avons par ailleurs observé trois effets sur l'utilisation de la réalité virtuelle que nous nommons l'effet VR-enthousiasme lié au groupe ayant eu accès à la réalité virtuelle, l'effet

déceptif - non-VR- lié au groupe qui n’y avait pas accès, et l’effet groupe. Concernant le premier effet, VR-enthousiasme, il découle du fait que ce n’est pas tout le monde qui a déjà testé la réalité virtuelle.

Pour ceux qui avaient déjà plongé dans une expérience en réalité virtuelle, ils n’avaient par contre pas vécu le tutoriel immersif. Lors de la mise en place du casque et du lancement du tutoriel, la première réaction était d’observer d’abord l’intégralité de l’environnement, de tester, avant de se concentrer finalement sur le tutoriel en lui-même. Parallèlement à cela, même si la navigation est intuitive, encore faut-il avoir pris le temps de la tester soi-même. Il faut donc là aussi prévoir un rapide temps d’assimilation.

Concernant le groupe qui n’a pas fait partie du bras réalité virtuelle, nous avons observé un effet que nous nommons “ déceptif- non-VR”. Le fait de ne pouvoir accéder à cette technologie et à cet environnement entraînait des protestations et un manque d’entrain initial à participer à l’étude. Nous avons alors dans un second temps, après le test, fait vivre au groupe qui n’appartenait pas au bras réalité virtuelle, une autre expérience que celle de l’étude pour qu’ils puissent eux aussi avoir cette chance. Prenant conscience ensuite de l’effet VR-enthousiasme et “first diving vertigo”, nous avons modifié le design de nos études suivantes. Tous les étudiants ont dorénavant accès avant la randomisation à une autre expérience de tutoriel immersif en réalité virtuelle faisant parti des premières études réalisées. Ceci permet en plus de ne pas leur faire perdre du temps pédagogique et ainsi de suivre leur parcours.

Finalement nous avons noté l’effet groupe. Il s’agit d’un biais que nous avons identifié au détriment du groupe réalité virtuelle. Il est lié à l’absence de contrôle direct sur ce que les étudiants voient dans le casque. Ajoutons ceux qui n’ont pas envie de voir l’expérience car étant mal à l’aise avec un environnement de bloc opératoire, certains auraient dû retirer le casque. Nous n’avons jamais constaté ce comportement. Ceci vient probablement de l’effet groupe : “les autres ne retirent pas le casque, pour quoi vais-je passer ”. Ils n’ont alors probablement pas

vécu l'expérience. Ils devaient ou bien avoir les yeux fermés, ou bien ils ont regardé ailleurs. Quels seraient les moyens de vérifier ceci ? Le tutoriel immersif est disponible sur ordinateur, une application permet de connecter les casques à cet ordinateur et de vérifier ce que voient les personnes. L'autre option serait un capteur oculaire "eye tracking" que l'on peut rajouter dans le casque, mais cette solution serait de suite plus onéreuse. Une dernière méthode que nous envisageons est la mesure de l'angle que fait la tête avec la verticale. En effet, celui qui ne souhaite pas voir, ne regarde pas dans la même direction que tous les autres. Il pourrait être utile de mesurer sur une photographie l'angle de sa tête, qui correspondrait à ce qu'il regarde.

5.2. DECIDER QUAND UN DESIGN PEDAGOGIQUE EN VR PEUT ETRE BENEFIQUE

Malgré l'attrait que les environnements VR peuvent présenter à usage de la formation, les instructeurs doivent prendre garde à leur utilisation car même si les environnements VR présentent des avantages pour certains objectifs pédagogiques, ils présentent bien entendu aussi des limites. Il est donc important de comprendre les bénéfices pédagogiques associés à ces environnements, pour comprendre leurs effets plancher et plafond dans le contexte de la conception d'un parcours pédagogique.

Cette carte conceptuelle permet d'obtenir un environnement VR immersif optimisé pour l'éducation en maximisant les bénéfices pédagogiques de par la diminution des distractions externes (Harrington et al., 2018), tout en permettant d'aller au-delà des difficultés d'apprentissage grâce à la création et la diffusion d'un contenu maintenant un niveau supérieur au seuil minimal d'intérêt/excitation de l'utilisateur. L'environnement digital permettant d'ajouter tout type de contenu en VR, il est tentant de donner accès à d'immenses ressources. Ceci peut être contre-productif car donner accès à un trop grand nombre d'informations et

d'interactions entraînent une augmentation de la charge cognitive et limite les capacités d'apprentissage. Il faut donc faire attention à ne pas submerger l'utilisateur/apprenant au risque de perdre tous les bénéfices que peut apporter la VR. La vision de l'ingénieur pédagogique doit s'adapter à l'apprenant final et à son engagement pour développer un programme idéal. Gòrski et al (2017) suggéraient qu'il y a trois niveaux distincts d'éducation possible en VR:

- 1) généraux (compétences conceptuelles),
- 2) procéduraux (comportemental, compétences adaptatives),
- 3) appliqués (pratique, compétences de généralisation).

Les figures 18 et 19 illustrent les différences conceptuelles entre le niveau de connaissance de l'utilisateur directement relié aux variations dans le design pédagogique.

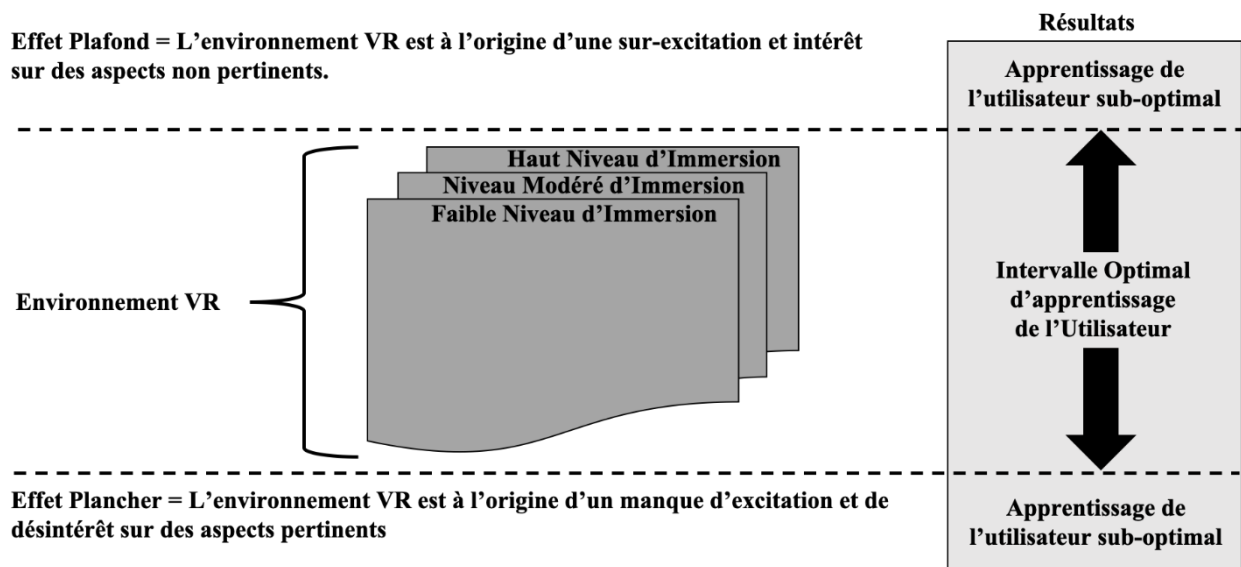


Fig. 18 : Représentation des effets plancher et plafond d'un design pédagogique utilisant la VR Immersive.

Malgré le nombre de niveaux créés dans l'environnement, l'ingénieur pédagogique doit avoir conscience des limites pratiques : ne pas submerger l'apprenant avec de trop grandes immersions et interactions, tout en en assurant suffisamment pour optimiser l'attention et l'apprentissage. Il est important de souligner que l'environnement VR immersif permet de réduire la charge cognitive et que s'il existe trop d'approches pédagogiques possibles au même moment cela peut in fine être contre-productif. © 2020, Ros & al. Used with permission.

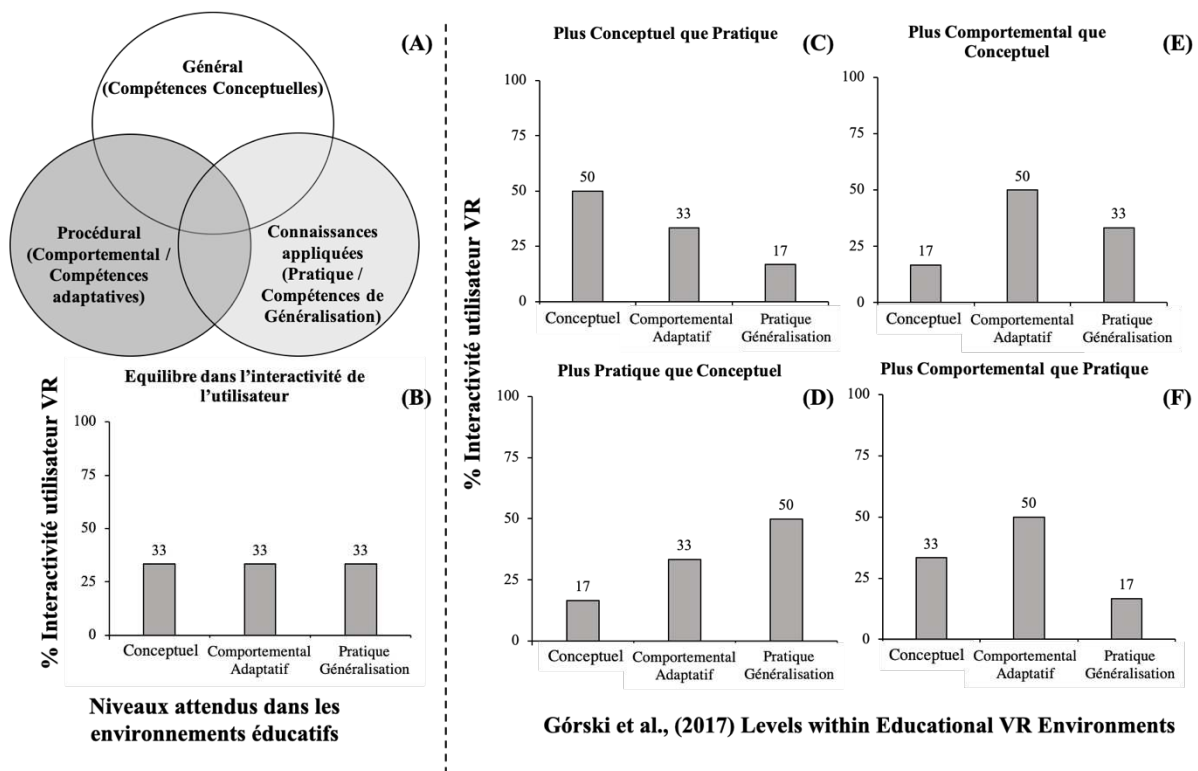


Fig. 19 : conception pédagogique des environnements VR pour assurer des résultats pédagogiques optimaux basée sur les modèles proposés par Gorski et al. (2017). (A) Diagramme représentant la balance à donner au contenu et à l'expérience VR entre les connaissances générales (compétences conceptuelles), le procédural (comportemental/adaptatif) et le savoir appliqué (pratique/généralisation des compétences) (B). Ainsi les ingénieurs pédagogiques devraient donner la flexibilité à l'utilisateur pour adapter l'environnement en fonction des ressources dont il a besoin pour qu'elles soient plus conceptuelles que pratiques (C), plus pratiques que conceptuelles (D), plus comportementales que conceptuelles (E), plus comportementales que pratiques (F). Permettre une telle flexibilité peut créer des environnements VR avec de plus grands gains pédagogiques. © 2020, Ros & al. Used with permission.

Bien que Concannon et al (2019) ont mis en évidence des résultats positifs sur l'utilisation d'applications VR immersive dans le cadre de l'apprentissage (pour 35 des 38 articles revus soit 92% de taux d'efficacité), il faut rester prudent car les environnements VR immersifs ne sont pas la réponse à toute situation pédagogique et il ne faut pas être tenté de l'utiliser uniquement pour son côté attractif. Concernant les connaissances théoriques, nous l'avons vu, la VR peut être utilisée pour apporter une compréhension structurale/contextuelle. Pour la connaissance procédurale et pratique la VR devrait être considérée lorsque les problématiques

qui nécessitent d'être résolues font appel à l'apprentissage expérientiel. L'apprentissage expérientiel correspond au fait que l'apprenant doit vivre une situation pour comprendre, pour gagner en expérience et ainsi devenir compétent. Comment définir quand l'apprentissage expérientiel est indiqué ? Quand c'est seulement le fait de vivre des expériences qui permet à l'apprenant d'avoir une compréhension totale. Lorsqu'on se demande comment montrer aux apprenants, et que la seule réponse est qu'il serait bien de prendre tout le monde dans ce contexte pour les faire vivre l'expérience, l'apprentissage expérientiel est indiqué.

Enfin, les environnements VR immersifs permettent d'acquérir la formation nécessaire pour réaliser des actions qui se révéleraient trop dangereuses dans la vraie vie pour les personnes qui s'y retrouvent exposées pour la première fois (Concannon et al. 2019). De ce fait, l'utilisation d'environnements VR immersifs peuvent améliorer à la fois la sécurité de l'utilisateur/apprenant mais aussi celle des individus qui seront présents en post-formation, dans les situations réelles. Dans le cas de la chirurgie, cela évite de blesser les patients. Ceci renforce la composante éthique de l'approche pédagogique au travers d'environnements VR immersifs et participe à améliorer d'autant plus l'acquisition des compétences, la confiance, et ainsi diminuer les risques chirurgicaux.

Il peut s'agir de gestes techniques que certains spécialistes doivent absolument connaître rapidement parce qu'ils se présentent fréquemment, et ainsi aider le jeune professionnel à être prêt plus rapidement. C'était le cas de l'étude détaillant la dérivation ventriculaire externe (*voir Chapitre 4.2 - Le tutoriel immersif en complément des ressources habituelles*). Mais il peut s'agir aussi d'expériences permettant à l'utilisateur/apprenant d'être confronté à une situation plus rare permettant de les maintenir prêts. Par exemple, Vankipuram (2014) a développé un simulateur VR immersif pour la réanimation cardio-respiratoire prouvant le caractère généralisable depuis la VR au monde/contextes réels (Vankipuram et al., 2014).

5.3. QUEL ENVIRONNEMENT VR IMMERSIF CHOISIR :

Plusieurs études ont débuté pour tenter d'apporter des réponses aux interrogations liées à la performance de l'apprentissage et au taux de rétention en utilisant les environnements VR. Dans le but d'adresser ces problématiques le plan de l'instructeur doit comprendre une approche étape après étape qui permettra d'échafauder directement les objectifs pédagogiques à court terme et les résultats d'apprentissage à long terme. Toutefois, malgré avoir défini et structuré le plus précisément possible un programme éducatif en VR, certaines difficultés peuvent émerger du fait de la large gamme de contenus VR proposés et des différentes intentions sous-jacentes à l'implémentation de ces environnements dans un parcours pédagogique. Ceci soulève les questions concernant la cohérence et la constance des études portant sur la VR, leur fiabilité, leur comparabilité, et lesquelles permettent de définir des facteurs de standardisation. En effet cela dépend :

- 1/ du type de contenu VR qui est étudié (immersif ou non-immersif, images de synthèse, vidéo 360, vidéo FPV 180),
- 2/ les objectifs pédagogiques (théorique, procédural, pratique)
- 3/ quel est le comparatif (livres, vidéos, cours magistral, simulateur physique).

5.3.1. ACCESSIBILITE DANS LES ENVIRONNEMENTS VR IMMERSIFS

“L’accessibilité se réfère à la capacité de l’utilisateur à trouver ce dont il a besoin, quand il en a besoin. L’amélioration de l’accès aux matériaux pédagogiques est crucial, étant donné que l’apprentissage est souvent une expérience non planifiée” (Ruiz et al., 2006). En accord avec ceci, les environnements VR peuvent permettre aux utilisateurs d’avoir accès n’importe où dans le monde au même contenu du moment qu’ils sont équipés des dispositifs technologiques pour leur permettre d’être immergés dans l’expérience (Kamińska et al., 2019).

Cette phrase résume peut-être encore mieux la nécessité de l'accessibilité : *« Apprendre est une expérience profondément personnelle: nous apprenons parce que nous souhaitons apprendre »* (Ruiz et al., 2006).

5.3.2. AUTONOMIE D'ACCES AUX ENVIRONNEMENTS VR IMMERSIFS

Au-delà de l'accessibilité, les environnements VR diffèrent dans le degré d'autonomie que peuvent avoir les utilisateurs pour ré-accéder à ces environnements. Certains environnements VR sont accessibles par l'utilisateur lui-même, alors que d'autres nécessitent la présence d'un instructeur pour la mise en place du système ou pour les accompagner dans l'expérience. Cela peut être le cas pour un seul utilisateur, ou bien pour un groupe d'utilisateurs (expérience VR partagée) ou bien même lorsqu'il s'agit de faire en sorte que les utilisateurs interagissent au sein même de l'environnement (VR collaborative) (Kaminska et al., 2019). Ainsi le degré d'autonomie est directement influencé par les objectifs pédagogiques visés et le design instructionnel de l'environnement VR. Ceci participe à la conception de l'expérience VR en elle-même. Identifier quel degré d'autonomie doit avoir chaque utilisateur est essentiel pour le design instructionnel et impactera le coût de développement des environnements VR immersifs.

5.3.3. COUT DE DEVELOPPEMENT DES ENVIRONNEMENTS VR IMMERSIFS

Les économies réalisées grâce à l'utilisation de la VR se mesurent dans le temps. Ils sont bien réels, et ont été comparés à l'utilisation de la 3D, 2D et de modèles réels (tissus, patients) (Gorski et al. 2017). Toutefois, comme pour tout type de nouvelle technologie, l'investissement initial correspondant au développement, à l'équipement matériel et logiciel, peut avoir un coût exorbitant. Du fait de ces défis financiers, un équilibre doit être trouvé entre les dépenses pour créer ce parcours pédagogique et le design instructionnel, tout en maximisant les résultats

pédagogiques (*Figure 20*). Il faut être capable de détailler les coûts pour pouvoir les comparer à d'autres méthodes et orienter la recherche et développement des expériences VR. Ces informations pourront aider les ingénieurs pédagogiques à faire la part des choses entre les environnements à fort investissement et à fort retour sur investissement versus ceux à faible investissement et faible retour.

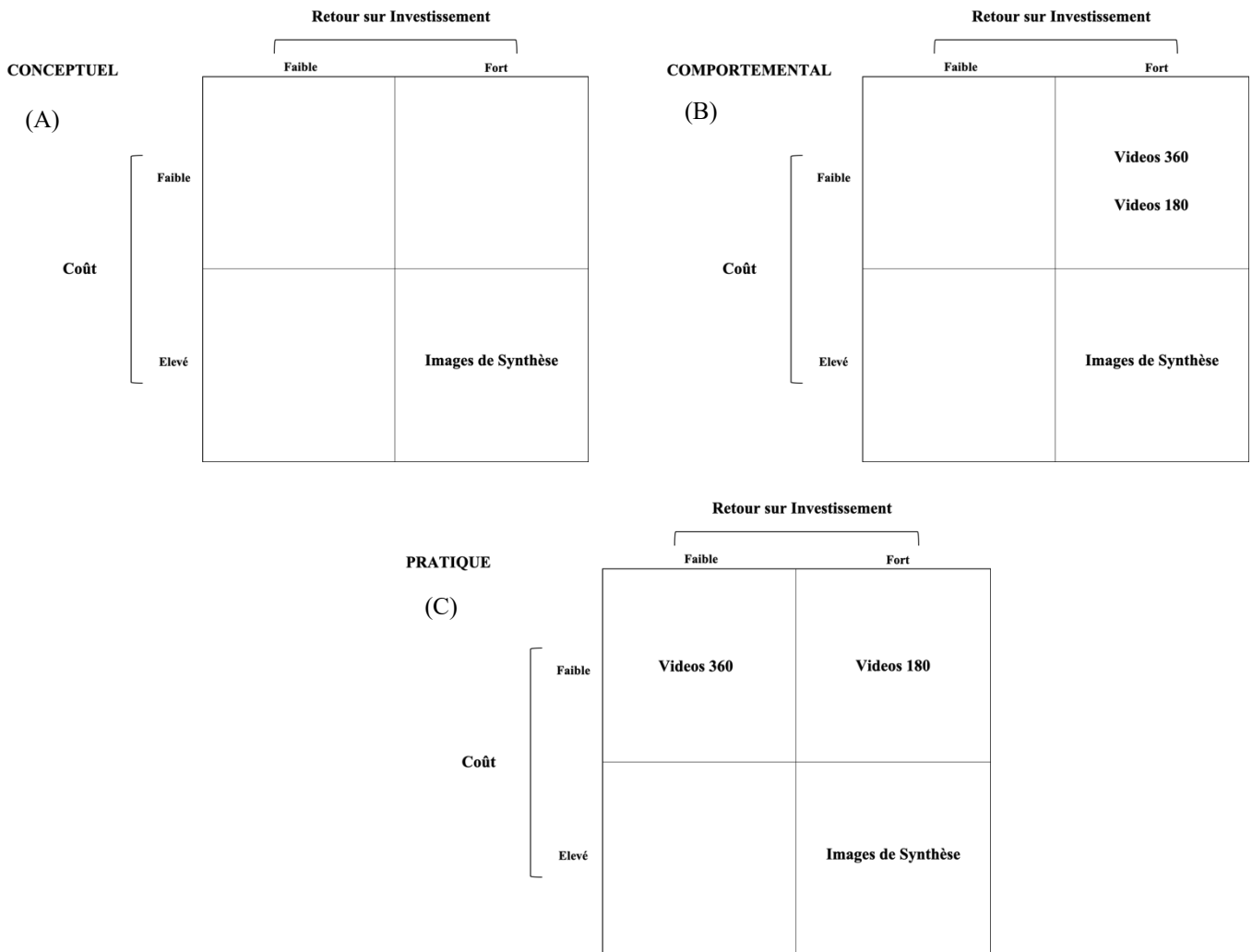


Fig. 20 : Probabilité croisée des coûts et retours attendus pour le développement d'environnement VR efficace dans le cadre de la formation conceptuelle (A), comportementale (B), et pratique (C). La situation idéale étant de maximiser un fort rendement à bas coût. Les nouveaux environnements peuvent coûter cher en investissement initial mais peuvent aussi s'amortir dans le temps. © 2020, Ros & al. Used with permission.

5.4. INCORPORER LA VR DANS UN PROGRAMME DE FORMATION

Modifier ou créer un nouveau programme de formation devrait toujours commencer par une évaluation des besoins de l'utilisateur final. Durant cette période d'évaluation, de multiples options, différentes devraient être comparées et la décision d'utiliser la VR ainsi que sa justification devraient être documentées.

La figure 21 illustre ainsi le cadre conceptuel à garder à l'esprit pour concevoir un environnement en VR immersive prenant en compte les facteurs propres à la VR et à son utilisateur final.

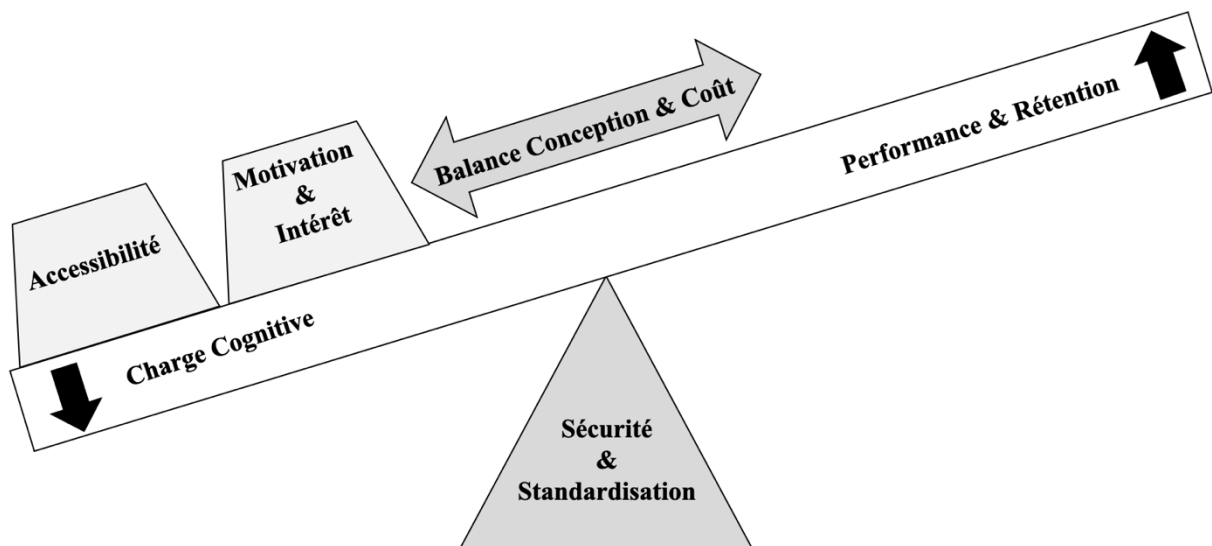


Fig. 21 : Cadre conceptuel à la mise en place de la VR dans un programme de formation. . © 2020, Ros & al. Used with permission

Bien que la technologie et l'apprentissage pédagogique se soient considérablement développés durant les 15 dernières années, l'approche que Ruiz et al. (2006a) ont apporté aide ce champ à mieux comprendre la valeur pédagogique d'incorporer différentes méthodes d'apprentissage dans les environnements VR immersifs. "L'approche traditionnelle centrée sur l'instructeur mène vers un modèle centré apprenant, qui donne aux apprenants le contrôle de leur propre apprentissage" (Ruiz et al., 2006). De façon spécifique, les théories de l'apprentissage

expérientiel et le constructivisme accompagne l'intégration des environnements immersifs VR dans n'importe lequel des programmes de formation (Concannon et al., 2019). Les adultes apprennent mieux quand ils sont capables de déterminer ce qu'ils ont besoin d'apprendre, d'explorer le sujet par eux-mêmes, et ensuite de l'appliquer activement à leurs propres connaissances, ils apprennent par l'expérience (Knowles, 1970). L'aspect autonome et expérientiel de la VR correspond bien à la théorie de l'apprentissage de l'adulte. C'est en cohérence avec cette approche que nous avons créé une expérience centrée utilisateur, dans laquelle l'apprenant a le sentiment d'être immergé au milieu de cet environnement, au beau milieu d'une chambre d'apprentissage, avec tout le nécessaire pour comprendre/apprendre tout autour de lui.

Une fois qu'il a été déterminé que la VR doit être utilisée, il est important de définir quel type de VR pourrait être la meilleure méthode pédagogique et instructionnelle pour répondre aux objectifs de formation des utilisateurs-apprenants. Images de synthèse lorsqu'un concept ne peut pas être représenté pour les connaissances théoriques ou pratiques ; vidéo 360 degrés pour faire comprendre un contexte, peut être considéré pour du comportemental ; 180 degrés FPV pour enseigner pratiques et procédures avec comme objectif de déployer à large échelle. Bien sûr le coût de création du contenu, son volume, le hardware (casque) utilisé pour le déployer, ainsi que le nombre de personnes qui auront à vivre cette expérience, peut augmenter la variabilité des résultats et le potentiel des applications VR.

Górski et al (2017) ont défini une méthode pour construire une réalité virtuelle orientée sur les connaissances médicales: 1) identification, 2) justification, 3) acquisition des connaissances, 4) formalisation des connaissances, 5) application et 6) implémentation. A partir de l'évaluation des besoins pédagogiques, l'instructeur peut identifier quel sera le groupe d'utilisateur et ce qu'il souhaite les voir accomplir au cours de la formation. Le cadre théorique de cette méthode est établi directement à partir des objectifs pédagogiques pour aider à obtenir un niveau plus

profond de connaissances et ainsi développer une large gamme de compétences qui peuvent être utiles pour le théorique, le pratique, le procédural et les comportements généralisables avec l'intention bien entendu de transposer depuis la VR vers le monde réel. La deuxième partie est la justification, qui inclue le calendrier, l'estimation du nombre d'heures, les coûts d'équipements matériel et logiciel, obtenir un financement ou développer un plan économique et évaluer les risques liés au projet. Durant le processus de développement, les expériences en environnement VR immersive devraient être testées par un groupe divers de potentiels utilisateurs/participants. Ceci dans un but d'obtenir un retour sur la fonctionnalité, l'efficacité et de pouvoir s'assurer que l'expérience ajoute un bénéfice au programme de formation (Kamińska et al., 2019). Ceci devrait être réalisé avec une combinaison de questions ciblant l'usage comme le System Usability Scale (Kamińska et al., 2019) ainsi que des questions ouvertes qui permettrait d'améliorer l'expérience de l'utilisateur et l'apprentissage. Il convient d'obtenir un retour d'un éventail d'utilisateurs comme des professeurs et des experts chirurgicaux car l'expérience sera vécue différemment en fonction de l'audience.

Il est important de noter que ces considérations sont à prendre en compte lorsqu'il s'agit de la création d'un nouvel environnement. Comme ces auteurs le stipulent, une grande problématique est l'absence de standardisation des environnements. La recherche basée sur la pédagogie doit avancer dans ce sens. La proposition de la méthode que nous avons créée va dans ce sens, celui d'un outil permettant d'être « tout-terrain » avec un cadre fixe qui aide les ingénieurs pédagogiques tout comme les instructeurs à se projeter d'emblée sur le rendu final, à réduire les coûts et à faciliter le déploiement.

Reste enfin à définir le meilleur moment de son utilisation : est-il intéressant d'y avoir aussi accès avant le cours comme l'application de Maresky (Maresky et al., 2018) ? Existe-t-il un renforcement de la rétention après plusieurs visionnages ? A quels intervalles ? Combien de temps avant la réalisation de la procédure ? A la manière d'un sportif qui mentalise l'action

qu'il va réaliser ? Ces questions sous-tendent les autres travaux que nous sommes en train de mener.

5.5. COMPARAISON DU TUTORIEL IMMERSIF AVEC LES AUTRES ENVIRONNEMENTS DE REALITE VIRTUELLE

En Anglais, le verbe qui désigne l'étudiant en chirurgie en train d'apprendre auprès de son mentor est « shadowing » : il fait l'ombre de son mentor. Il ne voit pas forcément ce qu'il se passe. Même lorsqu'il y arrive, il n'a pas forcément le bon angle de vue. Le cerveau humain a certaines limitations qui font qu'il pourrait ne pas complètement mémoriser la procédure. Ensuite, il peut y avoir des erreurs lors du processus d'apprentissage lors de la reproduction depuis le conceptuel à la généralisation au monde réel. Enfin, du fait de distractions causées par l'environnement, l'étudiant aura peut-être appris, mais avec quelle précision ?

Certains casques VR nécessitent que l'enseignant ait une connaissance spécialisée (Concannon et al.2019) qui peut être une barrière au bon déploiement d'une expérience VR intégrale. Certains environnements VR manquent de réalisme à cause des limites (notamment financières) pour produire des graphismes fidèles. Si les détails ne sont pas réalistes, cela peut entraîner des déviations par rapport à l'objectif initialement recherché et ainsi, éloigner l'utilisateur de la "crédibilité" de l'expérience immersive VR (Kamińska et al., 2019). L'une des raisons pour lesquelles la vidéo 180 est un atout, provient du fait qu'elle ne nécessite pas de matériel complexe, ainsi les formateurs n'ont pas besoin de connaissance spécialisée en technologie. Le contenu est intrinsèquement réaliste et plus familier pour l'utilisateur. De ce fait il peut être adopté plus facilement ce qui peut permettre de l'intégrer dans un vaste éventail de programme. La VR basée sur la vidéo permet aussi de décroître le coût pour créer ce contenu, et peut permettre là aussi de présenter une large gamme de situations comme autant de contextes

pédagogiques pouvant servir de support instructionnel. Bien qu'il existe plusieurs moyens de créer des vidéos, le FPV a prouvé être un important outil pédagogique avec plus d'efficacité qu'un autre contenu vidéo. Finalement, ce contenu peut plus facilement être déployé sous différents supports, que ce soient les casques de réalité virtuelle, tout comme les smartphones.

5.6. APPORTS PEDAGOGIQUES DU TUTORIEL IMMERSIF. SYNTHESE DES RESULTATS.

Le tutoriel IVRA-FPV a été créé intentionnellement pour apporter cette expérience unique consistant en l'utilisation d'une combinaison de différentes fonctionnalités pédagogiques qui ont, indépendamment, prouvé leur efficacité dans l'amélioration des résultats d'apprentissage des utilisateurs. L'utilisation de l'IVRA-FPV en soi, permet donc de vivre une expérience proche de ce que l'on peut attendre dans la réalité plutôt que de simplement visualiser une scène. Le relief apporte de la profondeur, permettant d'augmenter le réalisme de la scène. Les résultats des différentes études sont cohérents avec les propositions de Fowler (2015) en ce que l'immersion permet à l'utilisateur de sentir la présence, la co-présence, qui sont les meilleurs critères permettant d'établir un environnement d'apprentissage 3D à succès. Par ailleurs, le FPV a montré qu'il permettait d'améliorer l'apprentissage de nouveaux comportements comme l'acquisition d'un ensemble de compétences ou de gestes (Fiorella et al., 2017) grâce à la diminution de la charge cognitive. Une telle réduction de la charge cognitive doit, en retour, libérer des réserves cognitives pour ensuite aider à la compréhension, à l'acquisition de compétences, et de comportement et ainsi améliorer l'apprentissage.

Nous avons tout d'abord montré que l'IVRA-FPV intéressait les professionnels de santé quel que soit leur âge. Leur principal retour étant que la motivation à utiliser cet outil est qu'ils

comprenaient mieux. Nous avons ensuite montré que le tutoriel immersif permettait d'améliorer la rétention de connaissances pratiques, en ajout à un matériel pédagogique classique. Sur un travail étudiant la généralisation des compétences acquises au monde réel, les résultats montrent que l'IVRA-FPV entraîne une légère diminution de la compréhension orale avec un gain de compétences identique à celui du groupe bénéficiant d'un enseignement classique sous forme d'une leçon présentée par un enseignant. Toutefois, une tendance a été observée qui aurait été significative si l'échantillon de population avait été plus large. De plus, malgré une compréhension orale diminuée, le groupe IVRA-FPV a été plus efficace lors de la réalisation de la procédure de ponction lombaire sur mannequin montrant un gain de compétence avec une précision augmentée et un temps diminué.

Enfin, le tutoriel Immersif a par ailleurs une valeur pédagogique additionnelle en permettant d'être créé et déployé très rapidement pour former une audience très large (bien au-delà des contraintes d'une leçon traditionnelle, de laboratoire ou des rotations hospitalières).

Ainsi, un instructeur enseignant un programme en utilisant le tutoriel immersif peut augmenter la fiabilité des procédures médicales.

6. LA THESE

Le présent travail a tenté de combiner l'utilisation de la VR (pour motiver et augmenter l'engagement des utilisateurs en apportant une expérience immersive) avec un FPV (pour changer du classique apprentissage d'une procédure en donnant accès au point de vue de l'expert), et avec des données interactives pour créer un outil pédagogique IVRA-FPV afin de former les étudiants en médecine et en chirurgie. L'un des principaux avantages du tutoriel immersif, contrairement aux vidéos médicales, est qu'il permet à l'utilisateur de vivre l'expérience depuis un point de vue à la première personne : pour "apprendre au travers des yeux de l'expert". Nous avons montré qu'indépendamment de l'âge 90% des chirurgiens interrogés aimeraient que cet outil fasse parti de l'apprentissage, 87% estiment qu'ils auraient appris plus vite parce qu'ils auraient compris plus vite. Nous avons ensuite montré que le tutoriel immersif permettait d'améliorer la rétention de connaissances pratiques, en ajout à un matériel pédagogique classique. Lors d'une interrogation orale portant sur des données théoriques, le tutoriel immersif agit moins bien qu'un enseignant avec un diaporama. Par contre lors de la généralisation d'une procédure au monde réel, il permet d'obtenir des résultats équivalent à une leçon et permet de réduire la durée de réalisation consécutive de la procédure tout en homogénéisant le groupe. Nous avons montré qu'il permettait une réduction des erreurs de l'ordre de 65%. Enfin, nous avons prouvé qu'appliquer cette méthode de création de contenu permettait de produire rapidement un matériel pédagogique efficace pouvant être déployé à grande échelle avec 89% des utilisateurs répondant que ces tutoriels répondent à des besoins de

formation, 88% qui estiment que ce format leur a permis de gagner en confiance dans la pratique du geste. Pour 95% d'entre eux, ce format leur a permis de mieux comprendre, et 95% recommandent son utilisation.

L'utilisation adaptée sur le plan pédagogique de la VR avec un FPV basée sur un socle théorique constructiviste améliore l'apprentissage des connaissances, des savoir-faire et des savoir-être des chirurgiens. La VR immersive conceptualisée, produite, testée dans cette thèse est accessible dans tous les endroits du monde et permet de vivre un apprentissage expérientiel dans un modèle de santé complexe nécessaire à la diminution des erreurs médicales.

7. PROJECTIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Ces études émergentes et la corroboration de leurs résultats entre elles ont commencé à illustrer dans le domaine de l'apprentissage par la VR l'utilité de cette technologie dans le domaine médical et apparenté pour les prochaines générations d'apprenants. Enfin cette approche permet de maîtriser les coûts de différentes façons et peut aider à accélérer la compréhension et la montée en compétence des apprenants pour une procédure médicale puisqu'il y a moins de variabilité sur les résultats de l'apprentissage. Il serait intéressant de comparer les différents types de formation en simulation qui ont été reportés avec l'IVRA-FPV afin de définir au mieux les combinaisons optimales et ainsi définir les bonnes pratiques en termes de méthodologie pédagogique. Du fait du taux de développement rapide dans ce domaine, il y a une vraie problématique qui est que le temps de finaliser de telles études, les résultats soient moins satisfaisants du fait des évolutions technologiques. Néanmoins, il demeure une problématique à résoudre concernant la valeur pédagogique d'utilisation des différents types de VR (jeu vidéo, film etc...) ou de simulateurs non-VR, notre compréhension de leur valeur intrinsèque, et leur adaptation au parcours pédagogique. Le principal objectif est de répondre à ces questions : Lequel est meilleur pour la théorie ? Lequel conduit à une meilleure compréhension ? Lequel améliore les compétences techniques ? Lequel doit être utilisé pour cultiver de façon efficace et éthique l'empathie ? Les recommandations et bonnes pratiques manquent dans le domaine de la VR et devront être soigneusement évaluées et écrites. S'il apparaît que pour une indication précise deux types de simulation amènent aux mêmes résultats, à la fin, une approche

économique devrait être alors conduite et détaillé auprès des étudiants et des enseignants pour choisir la méthode la moins coûteuse avec la meilleure valeur pédagogique.

Le tutoriel immersif a montré une grande valeur pédagogique qui en fait un outil fiable. De plus, il correspond à une application mobile : il est facilement transmissible. Ainsi nous avons l'ambition de pouvoir participer à la formation des professionnels de santé de façon globale, même dans les endroits les plus reculés et les moins bien pourvus en capacité de formation.

8. REFERENCES

- Adams J. G., & Walls R. M. (2020). Supporting the Health Care Workforce During the COVID-19 Global Epidemic. *JAMA*, 323(15), 1439–1440.
<https://doi.org/10.1001/jama.2020.3972>.
- Alotaibi F. E., AlZhrani G. A., Sabbagh A. J., Azarnoush H., Winkler-Schwartz A., & Maestro R. F. D. (2015). Neurosurgical Assessment of Metrics Including Judgment and Dexterity Using the Virtual Reality Simulator NeuroTouch (NAJD Metrics): *Surgical Innovation*. <https://doi.org/10.1177/1553350615579729>.
- Andersen S. A. W., Foghsgaard S., Cayé-Thomasen P., & Sørensen M. S. (2018). The Effect of a Distributed Virtual Reality Simulation Training Program on Dissection Mastoidectomy Performance. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 39(10), 1277–1284.
<https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002031>.
- Andersen S. A. W., Mikkelsen P. T., Konge L., Cayé-Thomasen P., & Sørensen M. S. (2016). Cognitive Load in Mastoidectomy Skills Training: Virtual Reality Simulation and Traditional Dissection Compared. *Journal of Surgical Education*, 73(1), 45–50.
<https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2015.09.010>.
- Arane K., Behboudi A., & Goldman R. D. (2017). Virtual reality for pain and anxiety management in children. *Canadian Family Physician Medecin De Famille Canadien*, 63(12), 932–934.
- Barrouillet P., Bernardin S., Portrat S., Vergauwe E., & Camos V. (2007). Time and cognitive load in working memory. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 33(3), 570–585. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.3.570>.

- Baudonnière P.M. (1997). Le mimétisme et l'imitation. Un exposé pour comprendre, un essai pour réfléchir. *Flammarion*. <https://www.decitre.fr/livres/le-mimetisme-et-l-imitation-9782080355027.html>.
- Bernard F., Lemée J.-M., Aubin G., Ter Minassian A., & Menei P. (2018). Using a Virtual Reality Social Network During Awake Craniotomy to Map Social Cognition: Prospective Trial. *Journal of Medical Internet Research*, 20(6), e10332. <https://doi.org/10.2196/10332>.
- Biocca F., & Levy M. R. (1995). *Communication in the Age of Virtual Reality*. *Routledge*.
- Bouvier P. (2009). La présence en réalité virtuelle, une approche centrée utilisateur. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00581550>.
- Bowles P. F. D., Harries M., Young P., Das P., Saunders N., & Fleming J. C. (2014). A validation study on the use of intra-operative video recording as an objective assessment tool for core ENT surgery. *Clinical Otolaryngology*, 39(2), 102–107. <https://doi.org/10.1111/coa.12240>.
- Branas C. C., Rundle A., Pei S., Yang W., Carr B. G., Sims S., Zebrowski A., Doorley R., Schluger N., Quinn J. W., & Shaman J. (2020). Flattening the curve before it flattens us: Hospital critical care capacity limits and mortality from novel coronavirus (SARS-CoV2) cases in US counties [Preprint]. *Epidemiology*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.01.20049759>.
- Brunaud L. (2013). Will watching videos make us better surgeons? *Journal of Visceral Surgery*, 150(5), 295–296. <https://doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2013.09.005>.
- Burney D. W. (2017). Surgeon-Patient Communication: The Key to Patient Satisfaction, Patient-Centered Care, and Shared Decision Making. *Instructional Course Lectures*, 66, 659–665.

CH de Grasse. (2020, March 11). *Tutoriel habillage/déshabillage Covid-19*.

<https://www.youtube.com/watch?v=Q0pUAYwYBBc&t=138s>.

Chan E., Hovenden M., Ramage E., Ling N., Pham J. H., Rahim A., Lam C., Liu L., Foster S., Sambell R., Jeyachanthiran K., Crock C., Stock A., Hopper S. M., Cohen S.,

Davidson A., Plummer K., Mills E., Craig S. S., ... Leong P. (2019). Virtual Reality for Pediatric Needle Procedural Pain: Two Randomized Clinical Trials. *The Journal of Pediatrics*, 209, 160-167.e4. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2019.02.034>.

Chao C. J., Wu S. Y., Yau Y. J., Feng W. Y. & Tseng F. Y. (2017). Effects of three-dimensional virtual reality and traditional training methods on mental workload and training performance. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, 27(4), 187–196. <https://doi.org/10.1002/hfm.20702>.

Concannon B. J., Esmail S., & Roduta Roberts M. (2019). Head-Mounted Display Virtual Reality in Post-secondary Education and Skill Training. *Frontiers in Education*, 4(August), 1–23. <https://doi.org/10.3389/educ.2019.00080>.

Cooper G. (1990). Cognitive load theory as an aid for instructional design. *Australasian Journal of Educational Technology*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.14742/ajet.2322>

Custers E. J. F. M., Regehr G., McCulloch W., Peniston C., & Reznick R. (1999). The Effects of Modeling on Learning a Simple Surgical Procedure: See One, Do One or See Many, Do One? *Advances in Health Sciences Education: Theory and Practice*, 4(2), 123–143. <https://doi.org/10.1023/A:1009763210212>.

Dale E. (1946). *Audio-Visual Methods in Teaching*. Dryden Press.

Dalgarno B., & Lee M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10–32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>.

- De Boer I. R., Wesselink P. R. & Vervoorn J. M. (2016). Student performance and appreciation using 3D vs. 2D vision in a virtual learning environment. *European Journal of Dental Education*, 20(3), 142–147. <https://doi.org/10.1111/eje.12152>.
- Delion M., Klinger E., Bernard F., Aubin G., Minassian A. T. & Menei P. (2020). Immersing Patients in a Virtual Reality Environment for Brain Mapping During Awake Surgery: Safety Study. *World Neurosurgery*, 134, e937–e943. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.11.047>.
- D'Huart D. M. (2001). *La réalité virtuelle: Un média pour apprendre*. 331–338. <https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000489/document>.
- Dias N. (2005). Imitation et Anthropologie. *Terrain. Anthropologie & sciences humaines*, 44, 5–18. <https://doi.org/10.4000/terrain.2610>
- Dixon S. (2006). A history of virtual reality in performance. *International Journal of Performance Arts and Digital Media*, 2(1), 23–54. <https://doi.org/10.1386/padm.2.1.23/1>.
- Dunn J., Yeo E., Moghaddampour P., Chau B. & Humbert S. (2017). *Virtual and augmented reality in the treatment of phantom limb pain: A literature review*. NeuroRehabilitation; NeuroRehabilitation. <https://doi.org/10.3233/NRE-171447>.
- Dyer E., Swartzlander B. J. & Gugliucci M. R. (2018). Using virtual reality in medical education to teach empathy. *Journal of the Medical Library Association: JMLA*, 106(4), 498–500. <https://doi.org/10.5195/jmla.2018.518>.
- Engel G.L. (1977, April 8). The need for a new medical model: A challenge for biomedicine. *Science (New York, N.Y.); Science*. <https://doi.org/10.1126/science.847460>.
- Essex-Lopresti M. (1998a). The medical film 1897-1997: Part I. The first half-century. *The Journal of Audiovisual Media in Medicine*, 21(1), 7–12.

- Essex-Lopresti M. (1998b). The medical film 1897-1997: Part II. The second half-century. *The Journal of Audiovisual Media in Medicine*, 21(2), 48–55.
<https://doi.org/10.3109/17453059809167238>.
- Falk V., Mintz D., Grunenfelder J., Fann J. I., & Burdon T. A. (2001). Influence of three-dimensional vision on surgical telemanipulator performance. *Surgical Endoscopy*, 15(11), 1282–1288. <https://doi.org/10.1007/s004640080053>.
- Feldon D. F. (2007). Cognitive Load and Classroom Teaching: The Double-Edged Sword of Automaticity. *Educational Psychologist*, 42(3), 123–137.
<https://doi.org/10.1080/00461520701416173>.
- Fiorella, L., Van Gog, T., Hoogerheide, V., & Mayer, R. E. (2017). It's all a matter of perspective: Viewing first-person video modeling examples promotes learning of an assembly task. *Journal of Educational Psychology*, 109(5), 653–665.
<https://doi.org/10.1037/edu0000161>.
- Foundation, M. R., & Roussou, M. (2000). *Immersive Interactive Virtual Reality and Informal Education*.
- Fowler C. (2015). Virtual reality and learning: Where is the pedagogy? *British Journal of Educational Technology*, 46(2), 412–422. <https://doi.org/10.1111/bjet.12135>.
- Fowler C. J. H., & Mayes J. T. (1999). Learning Relationships from Theory to Design. *Association for Learning Technology Journal*, 7(3), 6–16.
- Fragaszy D. M., & Visalberghi E. (1989). Social influences on the acquisition of tool-using behaviors in tufted capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Journal of Comparative Psychology (Washington, D.C.: 1983)*, 103(2), 159–170. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.103.2.159>.

Frenay M., Noel B., Parmentier P. P. & Romainville M. (1998). L'étudiant-apprenant. Grilles de lecture pour l'enseignant universitaire.

<https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:21052>.

Frenk J., Chen L., Bhutta Z. A., Cohen J., Crisp N., Evans T., Fineberg H., Garcia P., Ke Y., Kelley P., Kistnasamy B., Meleis A., Naylor D., Pablos-Mendez A., Reddy S., Scrimshaw S., Sepulveda J., Serwadda D., & Zurayk H. (2010). Health professionals for a new century: Transforming education to strengthen health systems in an interdependent world. *Lancet (London, England)*, 376(9756), 1923–1958.

[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)61854-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)61854-5).

Gatto F. (1999). Attitudes cognitives et cultures de soins. Contribution de dispositifs pédagogiques spécifiques aux actions d'éducation à la santé. *Thèse de Doctorat en sciences de l'éducation, Université de Provence, Aix - Marseille 1*.

Gatto F. (2006). Enseigner la Santé, *L'Harmattan*.

Gatto F., Vincent S., & Michel S. (2016). Pourquoi la nouvelle formation initiale des kinésithérapeutes est une formation « à et par la recherche » multi-référentielle (qualitative et quantitative), indispensable pour une professionnalisation de qualité et pour une approche globale des patients ? *Kinésithérapie, la Revue*, 16(180), 24–31.

<https://doi.org/10.1016/j.kine.2016.07.003>.

Gigante M. A. (1993). 1 - Virtual Reality: Definitions, History and Applications. In R. A. Earnshaw, M. A. Gigante, & H. Jones (Eds.), *Virtual Reality Systems* (pp. 3–14). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-227748-1.50009-3>.

Girard R. (1972). La Violence et le Sacré. *Grasset*, ISBN-13 : 978-2246000518

Girard R. (1977). Mensonge romantique et vérité romanesque. *Grasset*, ISBN-13 : 978-2246004073.

Girard R. (1982). Le bouc émissaire. *Grasset*, ISBN-13: 978-2246267812.

- Górski F., Bun P., Wichniarek R., Zawadzki P., & Hamrol A. (2017). Effective design of educational virtual reality applications for medicine using knowledge-engineering techniques. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 395–416. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00623a>.
- Guerriero L., Quero G., Diana M., Soler L., Agnus V., Marescaux J. & Corcione F. (2018). Virtual Reality Exploration and Planning for Precision Colorectal Surgery. *Diseases of the Colon and Rectum*, 61(6), 719–723. <https://doi.org/10.1097/DCR.0000000000001077>.
- Harousseau J.-L., R. F. (2010). HAS - Rapport d'activité 2010. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-07/rapport_activite_2010.pdf.
- Harrington C. M., Kavanagh D. O., Wright Ballester G., Wright Ballester A., Dicker P., Traynor O., Hill A., & Tierney S. (2018). 360° Operative Videos: A Randomised Cross-Over Study Evaluating Attentiveness and Information Retention. *Journal of Surgical Education*, 75(4), 993–1000. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.10.010>.
- Harvey A. (2020). Covid-19: Medical schools given powers to graduate final year students early to help NHS. *BMJ*, 368. <https://doi.org/10.1136/bmj.m1227>.
- Hayden E. L., Seagull F. J., & Reddy R. M. (2015). Developing an educational video on lung lobectomy for the general surgery resident. *Journal of Surgical Research*, 196(2), 216–220. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.02.020>.
- Houssaye J. (1988). Théorie et pratiques de l'éducation scolaire. *P. Lang*.
- Hu Y., Tiemann D., & Michael Brunt L. (2013). Video Self-Assessment of Basic Suturing and Knot Tying Skills by Novice Trainees. *Journal of Surgical Education*, 70(2), 279–283. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2012.10.003>.
- Huh S. (2020). How to train health personnel to protect themselves from SARS-CoV-2 (novel coronavirus) infection when caring for a patient or suspected case. *Journal of*

- Educational Evaluation for Health Professions*, 17, 10.
<https://doi.org/10.3352/jeehp.2020.17.10>.
- Indovina P., Barone D., Gallo L., Chirico A., De Pietro G., & Giordano A. (2018). Virtual Reality as a Distraction Intervention to Relieve Pain and Distress During Medical Procedures: A Comprehensive Literature Review. *The Clinical Journal of Pain*, 34(9), 858–877. <https://doi.org/10.1097/AJP.0000000000000599>.
- Jackson P. L., Meltzoff A. N. & Decety J. (2006). Neural circuits involved in imitation and perspective-taking. *NeuroImage*, 31(1), 429–439.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.11.026>.
- Jin W., Choo A., Gromala D., Shaw C., & Squire P. (2016). A Virtual Reality Game for Chronic Pain Management: A Randomized, Controlled Clinical Study. *Studies in Health Technology and Informatics*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27046570/>.
- Jones T., Moore T. & Choo J. (2016, December 20). *The Impact of Virtual Reality on Chronic Pain*. PLoS One; PLoS One. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167523>.
- Kamińska D., Sapiński T., Wiak S., Tikk T., Haamer R. E., Avots E., Helmi A., Ozcinar C., & Anbarjafari G. (2019). Virtual reality and its applications in education: Survey. *Information (Switzerland)*, 10(10), 1–20. <https://doi.org/10.3390/info10100318>.
- Knowles M.S. (1970). The modern practice of adult education: Andragogy versus pedagogy. *Association Press*, ISBN-13: 978-0809617562.
- Kolb D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. FT Press.
- Kwan K., Wu C., Duffy D., Masterson J. & Blair G. K. (2011). Lights, camera, surgery: A novel pilot project to engage medical students in the development of pediatric surgical learning resources. *Journal of Pediatric Surgery*, 46(5), 962–965.
<https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2011.02.029>.

- Laver K. E., George S., Thomas S., Deutsch J. E. & Crotty M. (2015). Virtual reality for stroke rehabilitation. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2, CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub3>.
- Lee B., Chen B. R., Chen B. B., Lu J. Y. & Giannotta S. L. (2015). Recording stereoscopic 3D neurosurgery with a head-mounted 3D camera system. *British Journal of Neurosurgery*, 29(3), 371–373. <https://doi.org/10.3109/02688697.2014.997664>.
- Lombard M. & Ditton T. (1997). At the Heart of It All: The Concept of Presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2), 0–0. <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>.
- Lombardo S., & Price R. R. (2016). Invited Commentary: Reshaping Surgery as an Emerging Global Health Priority. *Current Trauma Reports*, 2(3), 181–184. <https://doi.org/10.1007/s40719-016-0051-1>.
- Lowood H.E. (2012, 11). Virtual reality | computer science. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>.
- Luursema J.-M., Verwey W. B., Kommers P. A. M. & Annema J.-H. (2008). The role of stereopsis in virtual anatomical learning. *Interacting with Computers*, 20(4–5), 455–460. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2008.04.003>.
- MacCraith E., Forde J. C. & Davis N. F. (2019). Robotic simulation training for urological trainees: A comprehensive review on cost, merits and challenges. *Journal of Robotic Surgery*, 13(3), 371–377. <https://doi.org/10.1007/s11701-019-00934-1>.
- Magos A., Kosmas I., Sharma M., Buck L., Chapman L. & Taylor A. (2005). Digital recording of surgical procedures using a personal computer. *European Journal of Obstetrics and Gynecology and Reproductive Biology*, 120(2), 206–209. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2004.11.003>.

- Makary M. A., & Daniel M. (2016). Medical error-the third leading cause of death in the US. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 353, i2139.
- Makhni E. C., Jobin C. M., Levine W. N. & Ahmad C. S. (2015). Using wearable technology to record surgical videos. *American Journal of Orthopedics (Belle Mead, N.J.)*, 44(4), 163–166.
- Marchand A. L. (2009). Usage des récits expérientiels et des savoirs épisodiques dans l'apprentissage de la gestion des risques. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00453455>.
- Maresky H. S., Oikonomou A., Ali I., Ditzkofsky N., Pakkal M. & Ballyk B. (2018). Virtual reality and cardiac anatomy: Exploring immersive three-dimensional cardiac imaging, a pilot study in undergraduate medical anatomy education. *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)*. <https://doi.org/10.1002/ca.23292>.
- Marra D. (2018, April 3). Rapport du Dr Donata Marra sur la Qualité de vie des étudiants en santé. *Ministère des Solidarités et de la Santé*. <https://solidarites-sante.gouv.fr/ministere/documentation-et-publications-officielles/rapports/sante/article/rapport-du-dr-donata-marra-sur-la-qualite-de-vie-des-etudiants-en-sante>.
- Maurin J.-C. (2004). Les enjeux psychologiques de la mise à distance en formation. *Distances et savoirs, Vol. 2(2)*, 183–204.
- Max M. L. & Burke J. C. (1997). Virtual reality for autism communication and education, with lessons for medical training simulators. *Studies in Health Technology and Informatics*, 39, 46–53.
- Mayes J. T., & Fowler C. J. (1999). Learning technology and usability: A framework for understanding courseware. *Interacting with Computers*, 11(5), 485–497. [https://doi.org/10.1016/S0953-5438\(98\)00065-4](https://doi.org/10.1016/S0953-5438(98)00065-4).

- Mazerand E., Le Renard M., Hue S., Lemée J.-M., Klinger E. & Menei P. (2017).
 Intraoperative Subcortical Electrical Mapping of the Optic Tract in Awake Surgery
 Using a Virtual Reality Headset. *World Neurosurgery*, *97*, 424–430.
<https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.10.031>.
- Mazuryk T., & Gervautz M. (1996). Virtual Reality—History, Applications, Technology and
 Future. Institute of Computer Graphics Vienna University of Technology, Austria.
[http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=A62CEF9C624968E794C26
 B8A226E8D67?doi=10.1.1.42.7849&rep=rep1&type=pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=A62CEF9C624968E794C26B8A226E8D67?doi=10.1.1.42.7849&rep=rep1&type=pdf).
- Meara J. G., Leather A. J. M., Hagander L., Alkire B. C., Alonso N., Ameh E. A., Bickler S.
 W., Conteh L., Dare A. J., Davies J., Mérisier E. D., El-Halabi S., Farmer P. E.,
 Gawande A., Gillies R., Greenberg S. L. M., Grimes C. E., Gruen R. L., Ismail E. A.,
 ... Yip W. (2015). Global Surgery 2030: Evidence and solutions for achieving health,
 welfare, and economic development. *The Lancet*, *386*(9993), 569–624.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60160-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60160-X).
- Mikropoulos T. A., & Natsis A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review
 of empirical research (1999–2009). *Computers & Education*, *56*(3), 769–780.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.020>.
- Mistry M., Roach V. A., & Wilson T. D. (2013). Application of Stereoscopic Visualization on
 Surgical Skill Acquisition in Novices. *Journal of Surgical Education*, *70*(5), 563–570.
<https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2013.04.006>.
- Miyake A., Friedman N. P., Emerson M. J., Witzki A. H., Howerter A. & Wager T. D.
 (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to
 complex “Frontal Lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*,
41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>.

- Mock C. N., Donkor P., Gawande A., Jamison D. T., Kruk M. E., & Debas H. T. (2015). Essential surgery: Key messages from Disease Control Priorities, 3rd edition. *The Lancet*, 385(9983), 2209–2219. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60091-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60091-5).
- Mori M., MacDorman K. F., & Kageki N. (2012). The Uncanny Valley [From the Field]. *IEEE Robotics Automation Magazine*, 19(2), 98–100. <https://doi.org/10.1109/MRA.2012.2192811>.
- Muller N. (1996). Transmissions de Savoirs Techniques: *Publié dans Apprendre un métier technique aujourd'hui*, 8, 1–49.
- Naumann D. N., Bowley D. M. & McArthur D. R. (2014). The Director's Cut – video editing as a training modality for minimally invasive surgery. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, 23(3), 188–189. <https://doi.org/10.3109/13645706.2013.866964>.
- Netgen (2020). Le modèle biopsychosocial: Beaucoup plus qu'un supplément d'empathie. *Revue Médicale Suisse*. <https://www.revmed.ch/RMS/2010/RMS-258/Le-modele-biopsychosocial-beaucoup-plus-qu-un-supplement-d-empathie>.
- Neuwirth L. S., Dacius T. F., & Mukherji B. R. (2018). Teaching Neuroanatomy Through a Historical Context. *Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, 16(2), E26–E31.
- Oviatt S. (2006). Human-centered design meets cognitive load theory: Designing interfaces that help people think. *MM '06 - Proceedings of the 14th ACM International Conference on Multimedia*, 871–880. <https://doi.org/10.1145/1180639.1180831>.
- Piaget J. (1968). Le Point De Vue De Piaget. *International Journal of Psychology*, 3(4), 281–299. <https://doi.org/10.1080/00207596808246651>.
- Piccoli G. B., Novaresio C., Mezza E., Soragna G., Rossetti M., Burdese M., Putaggio S., Dell'Olio R., Bravin M., Consiglio V., Tattoli F., Maddalena E., Gai M., Motta D., Bonetto A., Jeantet A., & Segoloni G. P. (2004). Making a movie on kidney

- transplantation: A medical school graduation thesis to explain kidney transplantation from students to students. *Transplantation Proceedings*, 36(9), 2550–2552.
<https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2004.10.025>.
- Rajon A.-M. (2009). Accompagnement, compagnonnage: Improbables voyages. *Empan*, n° 74(2), 41–43.
- Ravi D. K., Kumar N. & Singhi P. (2017). Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: An updated evidence-based systematic review. *Physiotherapy*, 103(3), 245–258.<https://doi.org/10.1016/j.physio.2016.08.004>.
- Reeves B. & Nass C. (1996). The media equation—How people treat computers, television, and new media like real people and places. *Center for the Study of Language and Inf.* ISBN-13: 978-1575860534. <https://doi.org/10.5860/choice.34-3702>.
- Reznick R. K. & MacRae H. (2009). Teaching Surgical Skills—Changes in the Wind (world) [Review-article]. *Massachusetts Medical Society*.
<https://doi.org/10.1056/NEJMra054785>.
- Rizzolatti G. & Craighero L. (2004). THE MIRROR-NEURON SYSTEM. *Annual Review of Neuroscience*, 27(1), 169–192.
<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>.
- Ros M., Debien B., Cyteval C., Molinari N., Gatto F. & Lonjon, N. (2020a). Applying an Immersive Tutorial in Virtual Reality to Learning a New Technique. *Neurochirurgie*.
<https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2020.05.006>.
- Ros M., Neuwirth L.S. (2020b). Increasing global awareness of timely COVID-19 healthcare guidelines through FPV training tutorials: Portable public health crises teaching method. *Nurse Education Today*, <https://doi.org/10/1016/j.nedt.2020.104479>.
- Ros M., Neuwirth L.S., Ng S., Debien B., Molinari N., Gatto F., Lonjon N. (2021). The Effects of an Immersive Virtual Reality Application in First Person Point-of_view,

Video-Based, on The Learning and Generalized Performance of a Lumbar Puncture Medical Procedure. *Educational Technology Research and Development*.

<https://doi.org/10.1007/s11423-021-10003-w>

Ros M., Ros S. (2017a). De la Réalité Virtuelle I. *E-Mem Natle Chir*, 16(4):006.

Ros, M. & Trives, J.V. (2020c). Point-of-view recording device. US Patent App. 16/341,070.

Ros M., Trives J.-V. & Lonjon N. (2017b). From stereoscopic recording to virtual reality headsets: Designing a new way to learn surgery. *Neuro-Chirurgie*, 63(1), 1–5.

<https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2016.08.004>.

Ros M., Weaver L., Neuwirth L.S. (2020d). Virtual Reality Stereoscopic 180-Degree Video-Based Immersive Environments: Applications for Training Surgeons and Other Medical Professionals In *Cases on Instructional Design and Performance Outcomes in Medical Education*, 92-119, Ed. Jill E. Stefaniak, IGI Global. DOI: 10.4018/078-1-7998-5092-2.ch005.

Rose S. (2020). Medical Student Education in the Time of COVID-19. *JAMA*.

<https://doi.org/10.1001/jama.2020.5227>.

Ruiz J. G., Mintzer M. J. & Leipzig R. M. (2006). The impact of e-learning in medical education. *Academic Medicine*, 81(3), 207–212. <https://doi.org/10.1097/00001888-200603000-00002>.

Schmidt R. S., Shi L. L. & Sethna A. (2016). Use of Streaming Media (YouTube) as an Educational Tool for Surgeons-A Survey of AAFPRS Members. *JAMA Facial Plastic Surgery*, 18(3), 230–231. <https://doi.org/10.1001/jamafacial.2016.0007>.

Schroeder R. (1993). Virtual reality in the real world: History, applications and projections.

Futures, 25(9), 963–973. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(93\)90062-X](https://doi.org/10.1016/0016-3287(93)90062-X).

- Seymour N. E., Gallagher A. G., Roman S. A., O'Brien M. K., Bansal V. K., Andersen D. K. & Satava R. M. (2002). Virtual reality training improves operating room performance: Results of a randomized, double-blinded study. *Annals of Surgery*, 236(4), 458–463; discussion 463-464. <https://doi.org/10.1097/01.SLA.0000028969.51489.B4>.
- SFAR. (2020, March 17). #COVID19—Tuto habillage /déshabillage—SFAR. https://www.youtube.com/watch?v=UHEATN2pN_8&t=3s.
- Sheik-Ali S., Edgcombe H. & Paton C. (2019). Next-generation Virtual and Augmented Reality in Surgical Education: A Narrative Review. *Surgical Technology International*, 35, 27–35.
- Smith S. J., Farra S. L., Ulrich D. L., Hodgson E., Nicely S., & Mickle A. (2018). Effectiveness of Two Varying Levels of Virtual Reality Simulation. *Nursing Education Perspectives*, 39(6), E10–E15. <https://doi.org/10.1097/01.NEP.0000000000000369>.
- Sternberg R. J., & Zhang L. (2014). *Perspectives on Thinking, Learning, and Cognitive Styles*. Routledge.
- Sturm L. P., Windsor J. A., Cosman P. H., Cregan P., Hewett P. J. & Maddern G. J. (2008). A Systematic Review of Skills Transfer After Surgical Simulation Training. *Annals of Surgery*, 248(2), 166–179. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318176bf24>.
- Sweller J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295–312. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5).
- Sweller J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123–138. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>.

- Sweller J. & Cooper G. A. (1985). The Use of Worked Examples as a Substitute for Problem Solving in Learning Algebra. *Cognition and Instruction*, 2(1), 59–89.
https://doi.org/10.1207/s1532690xci0201_3.
- Tolerton S. K., Hugh T. J. & Cosman P. H. (2012). The Production of Audiovisual Teaching Tools in Minimally Invasive Surgery. *Journal of Surgical Education*, 69(3), 404–406.
<https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2011.10.017>.
- Van Gog T., Paas F., Marcus N., Ayres P. & Sweller J. (2008). The Mirror Neuron System and Observational Learning: Implications for the Effectiveness of Dynamic Visualizations. *Educational Psychology Review*, 21, 21–30.
<https://doi.org/10.1007/s10648-008-9094-3>.
- Vankipuram A., Khanal P., Ashby A., Vankipuram M., Gupta A., Drumm Gurnee D., Josey K. & Smith M. (2014). Design and development of a virtual reality simulator for advanced cardiac life support training. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 18(4), 1478–1484. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2013.2285102>.
- Vignes J.-R., Rogues A.-M. & Moreau J.-J. (2013). L’image mentale peut-elle améliorer l’apprentissage d’un geste chirurgical ? L’exemple de la désinfection des mains. *Pédagogie Médicale*, 14(2), 99–105. <https://doi.org/10.1051/pmed/2013045>.
- Vince J. (1993). 10—Virtual Reality Techniques in Flight Simulation. In R. A. Earnshaw M. Gigante A. & Jones H. (Eds.), *Virtual Reality Systems* (pp. 135–141). *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-227748-1.50018-4>.
- Virat M. (2015). Dimension affective de la relation enseignant-élève: Effet sur l’adaptation psychosociale des adolescents (motivations, empathie, adaptation scolaire et violence) et rôle déterminant de l’amour compassionnel des enseignants. Education. *Université Paul Valéry—Montpellier III, 2014. Français. FfNNT : 2014MON30048ff. Fftel-01129076f*.

- World Health Organization [WHO]. (2020). Critical preparedness, readiness and response actions for COVID-19: Interim guidance, 22 March 2020 (*WHO/2019-nCoV/Community_Actions/2020.3*). <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331511>
- Wurnig P. N., Hollaus P. H., Wurnig C. H., Wolf R. K., Ohtsuka T. & Pridun N. S. (2003). A new method for digital video documentation in surgical procedures and minimally invasive surgery. *Surgical Endoscopy And Other Interventional Techniques*, 17(2), 232–235. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-9022-4>.
- Zahorik P., & Jenison R. L. (1998). Presence as Being-in-the-World. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(1), 78–89. <https://doi.org/10.1162/105474698565541>.
- Zheng C., Li J., Zeng G., Ye W., Sun J., Hong J. & Li C. (2019). Development of a Virtual Reality Preoperative Planning System for Postlateral Endoscopic Lumbar Discectomy Surgery and Its Clinical Application. *World Neurosurgery*, 123, e1–e8. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.08.082>.

9. ANNEXES

**9.1. ANNEXE 1. ARTICLE – DE LA REALITE VIRTUELLE
IMMERSIVE – *E-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie*
(2017)**

De la réalité virtuelle immersive

Immersive Virtual Reality

M Ros [1], S Ros M.D. [2]

1. Neurochirurgien, ancien chef de clinique assistant des hôpitaux de Montpellier - Université Paul Valéry, Montpellier - Président fondateur SAS REVINAX.
2. Chirurgien digestif, ancien chef de clinique assistant des hôpitaux de Toulouse.

Résumé

La formation en santé est un enjeu fondamental au niveau mondial. Permettre à un plus grand nombre d'accéder à des soins chirurgicaux, réduire les erreurs, diminuer les dépenses qui en découlent font de la chirurgie une priorité internationale aux yeux de L'OMS. Il est actuellement possible de trouver des méthodes alternatives au compagnonnage classique pour assurer la formation aux gestes médicotéchniques. La simulation est une méthode d'apprentissage qui fait ses preuves. Une nouvelle branche technologique, visuelle, surgit depuis peu : la réalité virtuelle.

Le principal écueil rencontré au cours de l'apprentissage de la chirurgie par compagnonnage est l'angle de vue de l'étudiant qui ne correspond pas à celui de l'opérateur principal. Grâce à la réalité virtuelle, il est désormais possible par un simple masque de prendre la place de l'opérateur et d'avoir sa vision du champ opératoire.

Ce travail présente la création d'une plateforme de réalité virtuelle sur téléphone mobile. Cette plateforme rassemble ce que nous appelons des tutoriels immersifs : il s'agit d'expériences en réalité virtuelle dessinées dans le but de transmettre le savoir faire. L'utilisateur a accès pour la première fois au point de vue de l'opérateur principal, voyant au travers ses yeux, dans un environnement pédagogique 3D en réalité virtuelle.

Mots clés

- ◆ Réalité virtuelle
- ◆ Enseignement
- ◆ Vidéo
- ◆ Stéréoscopie
- ◆ Chirurgie

Abstract

Healthcare learning is a world wide challenge. More specifically, surgery is now a top priority for World Health Organization: to give access to a good surgical training to every surgical student across the world and, therefore to decrease errors and expenditures, There are new innovative methods to teach the surgical technique. Among them, simulation has proven to be relevant and a new technology is emerging, virtual reality. One of the main problems we face during surgical learning is the point of view, which is not the same for the teacher and the student and is seldom the good one for the later. Thanks to Virtual Reality, we can now improve this issue and place the student in an immersive environment. This work introduces the design of a cloud platform on mobile phone. This latter collects what we call immersive tutorials: virtual reality experience designed to transmit skills. For the very first time, the user can see through the eyes of the main surgeon, in a 3D virtual reality learning environment.

Keywords

- ◆ Virtual reality
- ◆ Teaching
- ◆ Movie
- ◆ Stereoscopy
- ◆ Surgery

Correspondance

Dr Maxime Ros, M.D. MSc - Université de Montpellier
Président de la société REVINAX - Cap Omega - rond-point Benjamin Franklin - 34000 Montpellier.
Tel : 04.67.33.66.12 - E-mail : maxime.ros@revinax.net

La formation en santé, un enjeu mondial

Des constats alarmants

Cinq milliards d'individus dans le monde n'ont pas accès à la chirurgie. L'Organisation Mondiale de la Santé a identifié quarante-quatre gestes médico-chirurgicaux essentiels. Leur maîtrise permettrait de sauver un à cinq millions de vies par an (1).

Du fait de l'augmentation de la population, les équipes chirurgicales (chirurgiens, anesthésistes, infirmiers, obstétriciens) doivent au moins doubler d'ici à 2030 pour seulement maintenir ce niveau de soins. Ce qui impose d'augmenter les capacités de formation.

Par ailleurs, les dépenses de santé n'ont cessé d'augmenter. Dans les pays développés, un tiers de ces dépenses sont imputées à des erreurs médicales. Ces erreurs correspondent à la troisième cause de mortalité (2). Elles sont liées en partie à une mauvaise compréhension, une mauvaise connaissance, un manque de formation.

Parallèlement, le rapport de la Haute Autorité de Santé de 2010 stipule qu'il n'est plus question de réaliser pour la première fois un geste sur un patient. Il est donc indispensable d'apprendre avec de nouveaux outils.

La formation des chirurgiens et des personnels de santé est une clef pour améliorer la santé à l'échelle mondiale. L'OMS a ainsi hissé la chirurgie au rang de priorité internationale (3).

Quels outils pour y répondre ?

Pour répondre à ces enjeux, de nouveaux outils doivent être développés. L'outil doit être simple, facile d'accès, peu onéreux, efficace, facilement accessible à travers le monde. Il doit intégrer les principes pédagogiques connus et validés.

Edgar Dale (4) avançait qu'après quinze jours, on ne retenait que 10 % de ce qu'on lisait et 90 % de ce qu'on vivait, la mémorisation s'en trouve facilitée. Vivre une expérience permet ainsi de mieux l'assimiler. La simulation a sa place dans l'apprentissage car c'est justement une méthode qui permet de vivre une expérience.

Certains professionnels, comme dans l'aviation, ont intégré depuis longtemps la simulation dans leur parcours de formation. La simulation médicale, se développe de plus en plus, avec des paramètres plus difficiles à appréhender. Parmi les méthodes de simulation, la réalité virtuelle a montré depuis quelques années déjà des résultats encourageants (5).

Visualisation et Chirurgie

L'angle de vue au cours du compagnonnage

Pour apprendre, un chirurgien doit vivre beaucoup d'expériences différentes, dans des contextes différents, avec des patients différents. Il doit approcher et comprendre la grande variabilité interindividuelle, pour être au point lorsqu'il passe lui-même à l'action. Il a été montré que plus un chirurgien voyait une intervention, meilleur il sera lors de sa première réalisation, et, meilleur il restera ensuite (6).

Depuis les démonstrations magistrales en amphithéâtre, au compagnonnage et à l'assistance au bloc opératoire, le principal écueil de l'apprentissage de la chirurgie est la différence de perspective, d'angle de vue entre le maître et l'élève. L'angle de vue du maître, opérateur principal, directement en face de la zone d'intérêt sur le champ opératoire, et l'angle de vue de l'élève qui est souvent à côté, ou en face. La vision des gestes techniques et du champ opératoire n'est alors pas du tout la même.

L'importance de cet angle de vue est capitale. Visualiser l'opération à la première personne permet d'éliminer les entraves, les gênes à une bonne visibilité du champ par l'apprenant. Il a été montré, notamment grâce à l'IRM fonctionnelle (10), qu'avoir accès à cet angle de vue, permet d'activer le réseau des neurones miroirs. Les aires corticales cérébrales correspondantes aux membres sollicités lors de la réalisation du geste sont activées. Le processus de mémorisation d'un geste s'en trouve simplifié, et amélioré.

Le film chirurgical

Afin de pouvoir cumuler un plus grand nombre d'expériences, de pouvoir décrire de nouvelles techniques, la vidéo est maintenant largement utilisée par les chirurgiens.

L'histoire de la vidéo médicale commence avec le début du cinéma dans la première moitié du XX^{ème} siècle (7), se renforçant ensuite dans les années 90 avec la montée en puissance de l'endoscopie (8). Aujourd'hui, les vidéos sont partagées sur des sites en ligne, professionnels ou grand public (9). L'un des problèmes résiduels est de pouvoir fournir à l'étudiant un angle de vue identique à celui de l'opérateur et de lui faire partager en même temps plusieurs informations.

Un autre aspect important dans les vidéos de techniques chirurgicales et qui a une plus-value pédagogique (surtout pour les plus jeunes) est la visualisation en trois dimensions. Comprendre les différences de profondeur permet de mieux apprécier l'espace anatomique (11) et les gestes qui y sont pratiqués.

La réalité virtuelle immersive

Historique de la réalité virtuelle

En 1956, Morton Heilig conçoit une première machine stéréoscopique (3D) dynamique nommée le sensorama : précurseur des premiers outils de réalité virtuelle. Les casques se développeront peu à peu et c'est en 1985 (12) que Lanier introduit le terme de réalité virtuelle « Virtual Reality ». Il ne s'agit pas d'un oxymore contrairement à ce qu'on pourrait croire. Il s'agit de décrire une autre réalité, qui permet de prendre le contrôle du temps et de l'espace. Le terme réalité faisant référence en fait au présent.

Du fait de la miniaturisation des composants électroniques, et de l'augmentation de la puissance de calcul, la réalité virtuelle est revenue sur le devant de la scène en 2012. Les casques des débuts étaient plus qu'encombrants et peu immersifs car ils ne donnaient accès qu'à un petit nombre d'informations. Ces appareils ont désormais fait place à des casques légers, pouvant fonctionner à l'aide de téléphones portables, et donnant accès à beaucoup d'informations.

Une immersion favorisant l'apprentissage

La puissance de la réalité virtuelle vient de l'immersion totale qu'elle permet dans un environnement que l'on peut maîtriser. L'utilisateur ne fait pas que regarder, il ressent des sensations. La principale étant « le sentiment de présence » défini par Dalgarno et Lee (13) : l'utilisateur se sent physiquement projeté dans un autre environnement. Ceci permet un engagement émotionnel. Cet engagement, le fait de ressentir le vécu d'une expérience, permet de mieux apprendre. Ainsi, un spécialiste en pédagogie comme Fowler définit le sentiment de présence comme une caractéristique essentielle d'un environnement d'apprentissage 3D en réalité virtuelle (14). La réalité virtuelle n'est désormais plus statique, elle est évolutive est immersive.

Nous prenons à notre avantage les différents points évoqués ci-dessus pour donner tout son sens à cet outil comme le présentait Danielle Mellet d'Huart « rendant l'apprentissage proche d'un apprentissage concret dans un environnement réel » (15).

La réalité virtuelle immersive et la transmission du savoir-faire : le tutoriel immersif

Le film selon l'angle de vue de l'opérateur principal

Nous avons développé un procédé pour répondre à ces besoins de formation en utilisant la réalité virtuelle immersive (16). Il s'agit d'abord d'obtenir un film stéréoscopique selon l'angle de vue de l'opérateur principal. Pour ce faire, nous avons développé un support pour deux caméras (afin d'enregistrer en 3D) qui est porté par le chirurgien au cours de l'intervention. Les vidéos provenant des deux caméras sont synchronisées et assemblées côte à côte (side-by-side) pour obtenir le film stéréoscopique à proprement parler (Fig 1). Ce film ainsi obtenu est alors édité, découpé en chapitres en fonction des différents temps opératoires.

L'application mobile didactique

Vient ensuite la création de l'application dite tutoriel immersif. Il s'agit d'un environnement 3D en réalité virtuelle dont l'architecture permet une narration pédagogique. Après avoir lancé l'application, l'utilisateur met le téléphone dans un masque de réalité virtuelle afin de vivre l'expérience immersive. Lorsque l'utilisateur met le masque de réalité virtuelle devant les yeux, il est immergé dans une chambre d'apprentissage. Il fait face au lecteur de réalité virtuelle qui est un écran de 120° sur 90° sur lequel est projeté le film stéréoscopique. L'utilisateur a accès à un angle de vue unique : il voit en trois dimensions au travers des yeux de l'opérateur principal (Fig 2). En tournant la tête, il a accès sur les côtés de l'écran à des données pertinentes pour comprendre l'acte en cours : différentes coupes d'imageries médicales, présentation du cas cliniques, objet anatomique en trois dimensions (Fig 3).

Vers un manuel technique en réalité virtuelle

Le tutoriel immersif correspond à une application mobile : il est facilement transmissible. L'objectif est que l'intégralité des tutoriels immersifs créés soient accessibles à partir d'une seule application mobile : une plateforme correspondant à un manuel du savoir-faire en réalité virtuelle.

Afin de donner la possibilité à tout professionnel de transmettre lui-même son savoir-faire, nous développons un procédé d'autocréation. Il s'agit de la mise à disposition du matériel d'enregistrement, d'une suite logicielle permettant d'éditer simplement le film stéréoscopique, de créer soit même son tutoriel et de le partager sur la plateforme.

Cette solution tout-en-un est simple d'utilisation, facile d'accès, peu onéreuse, intégrant les principes pédagogiques validés par la science. Grâce à cette méthode, nous pouvons ainsi rendre la transmission et la consultation du savoir-faire, accessible au plus grand nombre.

Déclaration de conflit d'intérêt

Maxime Ros est Président Fondateur de Revinax, entreprise qui développe la solution des tutoriels immersifs.

Remerciements

Docteur Serge Ros pour avoir appuyé les essais virtuels et chirurgicaux.

Docteur Jean-François Uhl pour sa collaboration anatomique.

Références

1. Mock CN, Donkor P, Gawande A, Jamison DT, Kruk ME, Debas HT. Essential surgery: key messages from Disease Control Priorities, 3rd edition. *The Lancet* 2015;385:2209-19.
2. Makary MA, Daniel M. Medical error-the third leading cause of death in the US. *BMJ* 2016;353:i2139.
3. Lombardo S, Price RR. Invited Commentary: Reshaping Surgery as an Emerging Global Health Priority. *Curr Trauma Rep* 2016;2:181-4.
4. Dale E. *Audio-Visual Methods in Teaching*. NY: Dryden Press; 1946.
5. Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, et al. Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Ann Surg* 2002;236:458-63; discussion 463-4.
6. Custers EJFM, Regehr G, McCulloch W, Peniston C, Reznick R. The Effects of Modeling on Learning a Simple Surgical Procedure: See One, Do One or See Many, Do One? *Adv Health Sci Educ Theory Pract* 1999;4:123-43.
7. Essex-Lopresti M. The medical film 1897-1997: Part I. The first half-century. *J Audiov Media Med* 1998;21:7-12.
8. Essex-Lopresti M. The medical film 1897-1997: Part II. The second half-century. *J Audiov Media Med* 1998;21:48-55.
9. Schmidt RS, Shi LL, Sethna A. Use of Streaming Media (YouTube) as an Educational Tool for Surgeons-A Survey of AAFPRS Members. *JAMA Facial Plast Surg* 2016;18:230-1.
10. Jackson PL, Meltzoff AN, Decety J. Neural circuits involved in imitation and perspective-taking. *NeuroImage* 2006;31:429-39.
11. Luursema J-M, Verwey WB, Kommers PAM, Annema JH. The role of stereopsis in virtual anatomical learning. *Interact Comput* 2008;20:455-60.
12. Virtual reality (VR) | computer science. *Encycl Br n.d.* <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality> (accessed June 9, 2017).
13. Dalgarno B, Lee MJW. What are the learning affordances of 3D virtual environments? *Br J Educ Technol* 2010;41:10-32.
14. Fowler C. Virtual reality and learning: Where is the pedagogy? *Br J Educ Technol* 2015;46:412-22.
15. D' Huart DM. La réalité virtuelle : un média pour apprendre, EPI ; INRP; 2001, p. 331-8.
16. Ros M, Trives JV, Lonjon N. From stereoscopic recording to virtual reality headsets: Designing a new way to learn surgery. *Neurochirurgie* 2017;63:1-5.

Légendes

Figure 1 : Vue des deux lentilles à l'intérieur d'un masque de réalité virtuelle : une image légèrement décalée est projetée sur chaque lentille, une pour chaque œil, permettant d'obtenir une vision dite stéréoscopique, 3D. Le film initial est enregistré à l'aide de deux caméras.

Figure 2 : Capture d'écran de l'expérience utilisateur montrant la chambre d'apprentissage. En bas l'apprenant regarde face à lui, le lecteur de réalité virtuelle, et voit au travers des yeux de l'opérateur. En haut, en levant la tête, il a accès aux chapitres correspondant à chaque étape opératoire.

Figure 3 : Capture d'écran de l'expérience utilisateur montrant la chambre d'apprentissage. En bas l'apprenant regarde sur sa gauche, il peut consulter le scanner préopératoire. En haut, il regarde à droite, il peut analyser une reconstruction en trois dimensions obtenue à partir du scanner post-opératoire.



Figure 1 : vue des deux lentilles à l'intérieur d'un masque de réalité virtuelle : une image légèrement décalée est projetée sur chaque lentille, une pour chaque œil, permettant d'obtenir une vision dite stéréoscopique, 3D. Le film initial est enregistré à l'aide de deux caméras.

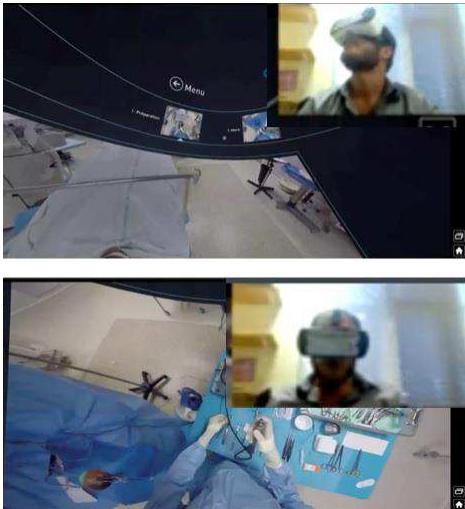


Figure 2 : capture d'écran de l'expérience utilisateur montrant la chambre d'apprentissage. En bas l'apprenant regarde face à lui, le lecteur de réalité virtuelle, et voit au travers des yeux de l'opérateur. En haut, en levant la tête, il a accès aux chapitres correspondant à chaque étape opératoire.



Figure 3 : capture d'écran de l'expérience utilisateur montrant la chambre d'apprentissage. En bas l'apprenant regarde sur sa gauche, il peut consulter le scanner préopératoire. En haut, il regarde à droite, il peut analyser une reconstruction en trois dimensions obtenue à partir du scanner post-opératoire.

**9.2. ANNEXE 2. ARTICLE – DE L’ENREGISTREMENT
STEREOSCOPIQUE AUX CASQUES DE REALITE VIRTUELLE :
CONCEPTION D’UN NOUVEAU MOYEN POUR APPRENDRE LA
CHIRURGIE – *Neurochirurgie (2017)***

RÉSUMÉ

Objectif

Il existe différentes approches en simulation pour améliorer la pratique chirurgicale. Grâce aux technologies portatives, enregistrer des films en 3D est désormais plus facile. Le développement des casques de Réalité Virtuelle permet d'envisager une nouvelle façon de visionner ces vidéos : en utilisant un logiciel dédié pour augmenter l'interactivité dans une expérience immersive 3D. L'objectif était d'enregistrer des films 3D selon la perspective du chirurgien principal, de visualiser les fichiers créés à l'aide de casques de réalité virtuelle et d'en valider l'intérêt pédagogique.

Matériel et Méthodes

Les procédures chirurgicales ont été filmées en utilisant un système combinant deux caméras placées côte-à-côte sur un casque. Nous avons ajouté deux DELs juste en dessous des caméras pour améliorer la luminosité. Deux fichiers ont été obtenus au format .mp4 et édités en utilisant un logiciel dédié pour créer des films 3D. Les fichiers ont été ensuite lus en utilisant un casque de Réalité Virtuelle. Les chirurgiens qui ont essayé l'expérience immersive ont alors complété un questionnaire pour évaluer leur intérêt quant à cette procédure pour apprendre la chirurgie.

Résultats

Vingt procédures chirurgicales ont été filmées. Les vidéos présentaient une scène étendue de 180° horizontalement et de 90° verticalement. L'expérience immersive créée par le dispositif donnait un véritable sentiment d'être dans le bloc opératoire et de voir la procédure à la première personne au travers des yeux du chirurgien principal. L'ensemble des chirurgiens ont indiqué croire en l'intérêt pédagogique de cette méthode.

Conclusions

Nous sommes parvenus à filmer en 3D le point de vue du chirurgien principal et à le visionner dans un casque de réalité virtuelle. Cette nouvelle approche améliore la compréhension de la chirurgie. La plupart des chirurgiens ont apprécié sa valeur pédagogique. Cette méthode pourrait être un outil d'apprentissage efficace dans le futur.

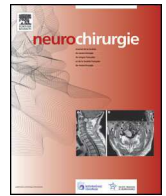


Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



Technical note

From stereoscopic recording to virtual reality headsets: Designing a new way to learn surgery

M. Ros^{a,b,*}, J.-V. Trives^b, N. Lonjon^a

^a Service de neurochirurgie, hôpital Gui-de-Chauliac, CHRU de Montpellier, 34000 Montpellier, France

^b Revinax SAS, 34000 Montpellier, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1st June 2016

Received in revised form 10 July 2016

Accepted 6 August 2016

Available online xxx

Keywords:

Medical education

Educational technology

Simulation training

Computer assisted instruction

General surgery

ABSTRACT

Objective. – To improve surgical practice, there are several different approaches to simulation. Due to wearable technologies, recording 3D movies is now easy. The development of a virtual reality headset allows imagining a different way of watching these videos: using dedicated software to increase interactivity in a 3D immersive experience. The objective was to record 3D movies via a main surgeon's perspective, to watch files using virtual reality headsets and to validate pedagogic interest.

Material and methods. – Surgical procedures were recorded using a system combining two side-by-side cameras placed on a helmet. We added two LEDs just below the cameras to enhance luminosity. Two files were obtained in mp4 format and edited using dedicated software to create 3D movies. Files obtained were then played using a virtual reality headset. Surgeons who tried the immersive experience completed a questionnaire to evaluate the interest of this procedure for surgical learning.

Results. – Twenty surgical procedures were recorded. The movies capture a scene which is extended 180° horizontally and 90° vertically. The immersive experience created by the device conveys a genuine feeling of being in the operating room and seeing the procedure first-hand through the eyes of the main surgeon. All surgeons indicated that they believe in pedagogical interest of this method.

Conclusions. – We succeeded in recording the main surgeon's point of view in 3D and watch it on a virtual reality headset. This new approach enhances the understanding of surgery; most of the surgeons appreciated its pedagogic value. This method could be an effective learning tool in the future.

© 2016 Published by Elsevier Masson SAS.

1. Introduction

Simulations must be developed in order to improve learning and ensure safer surgical practice [1]. There are several different approaches to simulation. In medicine, we can use role-play or a high-fidelity patient simulator; in surgical practice, human cadavers, animals, low-fidelity synthetic simulators and, more recently, virtual reality (VR), are available for use [2]. With the development of robotics, such as the da Vinci Surgical System (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA), students can train in a variety of ways. Moreover, simulations enhance visualization due to their stereoscopic approach [3] and allow for training specific to endoscopic surgery. In the neurosurgical field, the NeuroTouch (NAJD Metrics) simulator has been designed to provide haptic feedback [4].

The above-mentioned novel tools, nevertheless, have some limitations. First, they cannot be applied to all types of surgical

procedures. Second, they concentrate on skill, e.g., with respect to hand movements, but not on knowledge of the different steps involved in a surgical procedure. Furthermore, the tools cannot be applied in order that knowledge of the duration of a surgical procedure is acquired. Presently, to learn about surgical procedures in a step-by-step manner outside of the operating room, technical notes or videos are reviewed in two dimensions [5]. A method of three-dimensional (3D) recording has been recently developed but the need to wear specific glasses has limited its use [6].

New tools are currently being developed, including VR headsets (designed initially by Oculus; Irvine, CA). These headsets allow for total 3D immersion using stereoscopic views of a scene (i.e., two screens, one for each eye). Moreover, head tracking permits the observer not only to visualize the scene but also to view what happens in the area around the central view. VR allows us to design software that increases interactivity, permitting students to be active rather than just passively watching the videos. In this article, we introduce our first study that aimed at improving surgical learning.

Objectives were to test feasibility to record main surgeon point of view in 3D in various neurosurgical procedures; then to use VR

* Corresponding author at: Service de neurochirurgie, hôpital Gui-de-Chauliac, 80, avenue Augustin-Fliche, 34295 Montpellier, France.
E-mail address: m-ros@chu-montpellier.fr (M. Ros).

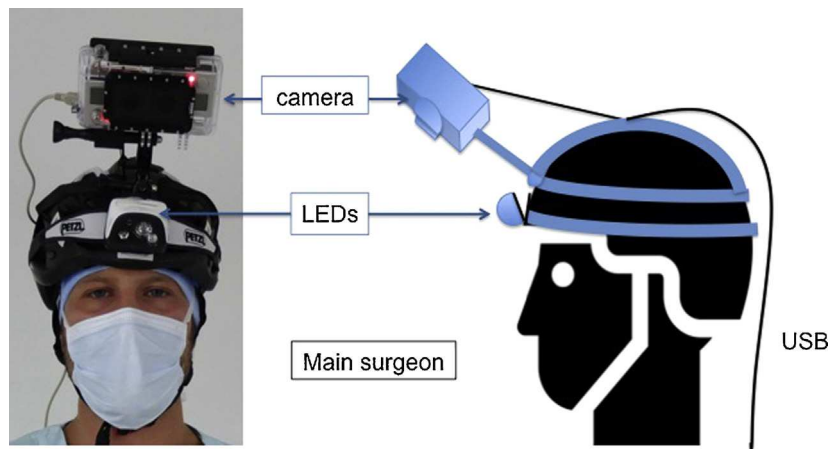


Fig. 1. Front view (photo) and lateral view (picture) of recording device: one stereoscopic camera (two cameras side-by-side) and two LEDs are placed on a helmet. The helmet is on head of main surgeon. Cameras are inclined to record surgeon point of view.

headsets to watch files obtained; finally, to have feedback from surgeons about this VR application.

2. Material and methods

2.1. Surgical recording

Patients were informed of the study procedures, and consent to record the surgery was obtained. The surgical procedures were recorded using a system combining two side-by-side cameras (GoPro, San Mateo, CA). The distance between the two lenses corresponded to the mean distance between two eyes (6 cm). The two cameras were connected to synchronize different commands. The system was placed on a helmet to improve surgical comfort and avoid any problems caused by the weight of the original recording device on the forehead of the surgeon. The device was linked via a USB port to an external battery situated in the back pocket of the surgeon. We added two LEDs just below the cameras to enhance luminosity (Fig. 1). The first LED was an ambient light, used instead of scalytic lamps. The other LED was a focal lamp allowing for a deeper operative field, thereby ensuring optimal luminosity in the region of interest.

Cameras were inclined approximately 45° from the horizontal plane to ensure the same field of view as that of the surgeon. The view was checked using a WiFi connection between the camera device and a smartphone. The surgeon placed an object in the central field of vision of the camera device, with the position of the cameras then checked by watching a streamed recording of the view on the smartphone.

Recording was controlled using the WiFi command packaged with the initial device. For the first recording, we assisted the surgeon by maintaining control of the command.

If preferred by the surgeon, access to the recording button could be achieved by placing the command in a sterile pocket on the operating table. We began recording after the checklist was completed and prior to the incision.

Three senior surgeons used the device to record the different surgical procedures. We tested this recording method on various surgeries to determine if it was applicable to a different context and position.

2.2. Virtual reality headset

After the surgery was performed, two files were obtained in a mp4 format, one for each eye. The two files were then edited using professional software Adobe Premiere Pro CC (Adobe Systems, San

Jose, CA) to create 3D movies presented side by side. Accuracy, luminosity and contrast were then checked. Different sequences were cut to create new files corresponding to the different steps of the surgical procedure.

The new files were then played using a VR headset (the prototype Rift DK2 [Oculus VR, Irvine, CA] was used initially; the Gear VR Innovator [Samsung, Seoul, South Korea], designed to be used with the S6 Edge [Samsung] device, is now employed). At the outset, we at first used a VR player, MaxVR (Supersinfulsilicon software, St Edmonton, AB) that permitted the use of an appropriate virtual screen. However, a computer engineer subsequently designed a mobile software called Surgevry (Revinax, Montpellier, France) that uses a special template for each surgical procedure permits the observation of procedures and creates a movie specially designed for the type of surgery that has been recorded. In the central field of view, a screen corresponding to the immersive video can be seen. In the upper field of view, different stages of the surgical procedure are divided into chapters according to time. In lateral fields of view, data can be added to explain surgery. For example (Fig. 2), in the left field of view, X rays, computed tomography (CT) or magnetic resonance imaging (MRI) scans can be integrated and visualized; in the right field of view, anatomical chart or 3D reconstruction can be seen.

2.3. Validation from surgeons

In order to obtain a representative sample of the surgical population, thirty other surgeons (mainly neurosurgeons, different generations, from residents to seniors, with an academic function or not) tried the VR headset (Gear VR). They watched one of the surgical procedures that we have recorded with the method described (external ventricular drainage) during 10 minutes. After this brief experience, they were asked to fill out a form to determine the interest of using this new method (Table 1). We identified, in the first questions, the surgical experience or degree of the different surgeons (specialty, university status). Second part of questionnaire was to obtain their initial impression using this device: nausea, stressful, surprising, interesting, captivating; then, did they think this method could have any pedagogical interest and to quantify it (1 to 5). Third part focused on the way they would use it (to learn from it, to teach with it), if they thought that this device will be part of the learning procedure in the future, and if they would use it. Possible answers were “certainly not”, “probably not”, “maybe”, “probably”, “certainly”. Fourth part was to know their feelings about their own past and the way they used to learn: if this device has been available during their studies, did they think

Table 1

Survey answers. A total of 30 surgeons answered the questionnaire: 15 neurosurgeons, 6 orthopedists, 3 plastic surgeons, 2 ENT, 2 digestive surgeons, 1 urologist and 1 vascular surgeon.

Question asked N (%)	Certainly	Probably	Maybe	Probably not	Certainly not
Would you use it to learn?	13 (43,3)	10 (33,3)	5 (16,7)	1 (3,3)	1 (3,3)
Would you use it to teach?	15 (50)	11 (36,7)	3 (10)	–	1 (3,3)
This will be a part of training	14 (46,7)	16 (53,3)	–	–	–
Would you want this?	20 (66,7)	8 (26,7)	1 (3,3)	–	1 (3,3)
Would have understood faster?	9 (30)	17 (56,7)	3 (10)	–	1 (3,3)
Would have learned faster?	7 (23,3)	16 (53,3)	6 (20)	1 (3,3)	–
Would have mastered skills faster?	5 (16,7)	17 (56,7)	7 (23,3)	1 (3,3)	–
Would have extended knowledge?	6 (20)	14 (46,7)	8 (26,7)	1 (3,3)	1 (3,3)
Would have exceeded limits?	5 (16,7)	9 (30)	9 (30)	6 (20)	1 (3,3)

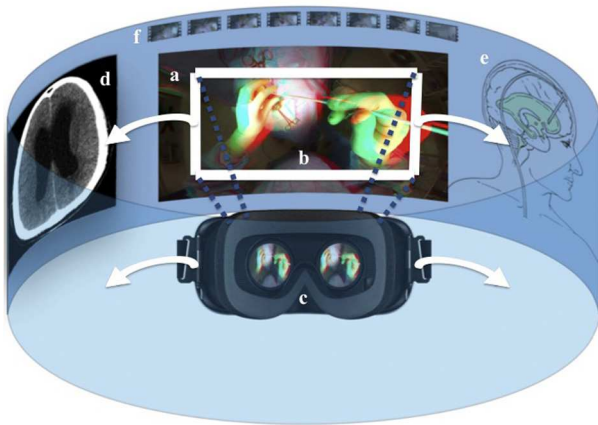


Fig. 2. Illustration of the vision allowed by dedicated VR software. Example of extra-ventricular drainage (EVD) placement. VR 3D screen is in the central part (a). Field of view (b) through lenses of VR headset (c) is represented by a white square. Moving head to the left allow to move field of view to the left and to explore CT-scan (d), to the right, observer will find anatomical chart (e). Looking upside, observer can choose different chapters (f) corresponding to different surgical steps (Video 1 illustrates this learning environment).

they would have been able to understand, to learn, to acquire skills faster. Moreover, did they think they would have extended surgical knowledge, and if they would have exceeded their own limits.

3. Results

3.1. Surgical recording

We succeeded in recording twenty consecutive neurosurgical procedures in total, as follows: cranial (two scaphocephalies and one skull fracture); craniofacial (one trigonocephaly and one forehead reconstruction); brain (two ventriculoperitoneal shunts, one occipital metastasis, one frontotemporal meningioma, one chronic subdural hematoma, one external ventricular drainage); spine (one epidural abscess, one cervical discectomy, one lumbar percutaneous screw fixation, five posterior reduction and fixation of thoracolumbar fractures).

The original recording device began to cause pain on the forehead approximately 1 hour after starting the procedure; the new prototype device prevented pain and permitted progressive dispensability of the helmet. At first, it was necessary to load the battery after 1 hour of recording, using permanent WiFi. WiFi streaming was used to confirm that a good view had been obtained, and the link to external battery permitted recording during the entire procedure (approximately 3 hours of surgery).

Scialytic lamps carry a risk of overexposure, particularly on white surfaces (e.g., skull, gloves) and metallic tools used during surgery. Using LEDs permitted the use of ambient light although, when the region of interest was in a deeper position, darkness was

preferred so that a second LED was added to focus the light and aid visualization of every detail.

Main limitation for the acquisition is the time of preparation, to clean the device, to wear it, and to calibrate the recording view. There is a learning curve that permits to go faster. We are still working to get it more ergonomic for surgeons. First prototype cost was approximately 1,000 US dollars, and may be more expensive to increase comfort during surgery. Another limitation is the kind of surgery: for the moment it is not possible to zoom. In this way, details of cervical discectomy can be difficult to visualize. Head-tracking is performed by mobile phone, next generation will be able to calculate a displacement on z-axis, allowing student to zoom in the screen. Currently, this method can be used for open technique, but for endoscopy or microsurgery, special equipment is required: 3D cameras. File obtained directly by USB connection is still side by side, but as it is used for colored glasses, there is a treatment applied (blue and red images). It is not relevant for virtual reality: the surgeon has to be connected to each camera in order to have two separated files without post-treatment. We are working on this new technical challenge in order to correct this problem.

3.2. Virtual reality headset

The movies capture a scene extended 180° horizontally and 90° vertically; the main surgeon has a central point of view. The lateral fields of view are able to show residents and nurses, the upper field of view shows the anesthesiologist, and the view below the central field shows the hands of the first surgeon.

The immersive experience created by the device conveys a genuine feeling of being in the operating room and seeing the procedure first-hand through the eyes of the main surgeon.

The main limitation of the method is motion sickness, i.e., vertigo and nausea due to rapid head movement by the main surgeon. During the first step when we used the prototype called DK2, it was unbearable for two surgeons who tried it (one of them previously had vestibular neuritis). However, calibration can address both of these problems. Additionally, improved recording and post-treatment, and use of the new VR headset produce a better image and superior movement stability: less motion sickness has been recorded with the new device.

3.3. Surgeon validation

Thirty surgeons filled out the form (Table 1): 30% were residents, 30% were young surgeons, 40% were advanced practitioners, (half with a university status). The experience conveys good feelings: fascinated in 50% of the cases, interested in 25%. The worst feeling was nausea concerning one surgeon. Everyone agreed regarding pedagogical value of this tool (mean quote 4/5).

Concerning their use of this device, to learn: 43% answers certainly, 33% probably; to teach: 50% answers certainly, 36.7% probably. They all thought that this device will be part of the

learning method in the future, and 67% would certainly like it, 27% probably. Concerning the way they would have learned if this device has been proposed during their studies, 57% thought they would probably have understood faster, 27% would certainly have learned faster and 60% replied probably, and 57% thought that they would have probably mastered skills sooner. Moreover, 50% thought that they would have certainly extended their surgical knowledge, and 30% that it would probably have permitted to extend their limits (17% certainly).

The main limitation was added in free commentary by a surgeon. The surgeon knows it would be part of the future but is reticent about the use of these technologies. He argues that these new tools prevent practitioners from thinking, and that there is a risk of losing the ability to work without external help.

4. Discussion

4.1. Surgery and video

Movies on surgery became available following advances in cinematography [7]. Medical movies using X rays have been developed to study different aspects of movement focusing on the limbs and joints. The first surgical video was recorded during the first half of the 20th century. At that time, there was a lot of skepticism regarding the pedagogic value of movies. Clinical examinations relevant to the discussion of new types of syndromes were also shown. Medical movies have been used progressively more widely for public health purposes, to provide medical explanations and promote disease prevention programs thereby underlining the pedagogic power of movies.

During the latter half of the 20th century [8], British universities developed a large database of different types of medical movies, for study purposes.

At the beginning of the 21st century, it became clear that watching medical movies represented an effective way of learning about surgical techniques [9]; thus, surgeons should be encouraged to develop movie databases for use in their schools or for publication in journals [10].

Specialties that have developed, and routinely use, intraoperative recordings are primarily those involving endoscopic or microscopic surgery [11]. Previously, monitors were connected to a videotape recorder. Today, it is easier to record and save movies on a personal computer [12]. Surgeons employ endoscopic cameras to record open surgery because they can be used in a sterile manner. Another strategy involves placing the camera inside scalytic lamps. However, the problem remains of visualizing all of the details of the surgery because a hand or tool can obscure the region of interest. Even if miniaturization of the recording material permits focus on the operative region, it remains difficult to experience the procedure from the surgeon's point of view. Moreover, collaboration with another person is required to achieve the best perspective. The development of wearable technologies allows us to record procedures from a subjective point of view, i.e., that of the main surgeon.

The first example of this new technology being used by surgeons was with the Google lens (Menlo Park, CA.) [13], which comprises of a camera attached to glasses. We preferred to use another device, namely the stereoscopic camera: recording with two adjacent cameras allows us not only to obtain a subjective point of view, i.e., that of the main surgeon, but also the point of view from each eye. Movies obtained this way can be instantly viewed in 3D.

We did not encounter the same limitations reported by Lee et al. [14], as regards the use of a head-mounted set, because we designed a prototype to ensure surgeon comfort. Recording tests are now permitted using WiFi so that the device is not touched

during surgery, and recording can be started using a simple command. With an external battery, recording is also possible using the entire capacity of memory cards.

4.2. Surgical movies and learning

Surgery students are more likely to study using videos than by reading technical notes [15]. From a teaching perspective, creating a movie permits the sharing of knowledge. Movie editing can represent a first step in the learning process [16] and movies can be used in training programs [17]. Another way in which these videos could be used is as trainee evaluation tools [18,19] because they have been shown to be an effective and reliable means of assessment.

In studies comparing two-dimensional (2D) and 3D movies, evidence of an improvement in learning using the latter is equivocal [20,21]. There are two facets of 3D movies that require further development. First, to date, 3D movies have been projected on to a plane screen. This provides a sensation of depth but the viewer does not feel to be a part of the action, i.e., there are no projections from the screen such that it is experienced as similar to looking through a window. The development of the VR headset has conferred to viewers to sense being a central part of the action, an effect referred to as immersion. This represents the first advantage of watching a video using a virtual headset. Moreover, the goal of VR is not to just watch a movie in a passive manner but to provide a better overall experience. An entire virtual world can be constructed encompassing the surgical scene [22]. Additional information about patients can be also obtained, including CT or MRI results and anatomical data; students can also interact with virtual nurses. Thus, by using augmented reality in a virtual world, students can interact with tools used by surgeons and better understand the surgical procedure.

Next step is an objective validation of this method to learn. A new prospective study will be designed using two groups: one group will acquire surgical skills via a formal course taught in a classical way and the other group will acquire these same skills through a VR headset.

4.3. Virtual reality and learning

VR allows learning to unfold in a different way. Designing a virtual learning environment permits the explanation of difficult concepts in a simple manner. Mikropoulos and Natsis (2011) published a 10-year review of VR and pedagogy research [23]. The theoretical model used by the included studies was constructivist and most of them were empirical and demonstrative with no real assessment of the benefits for students. From these analyses, Dalgarno and Lee (2010) defined three major characteristics necessary to build an effective 3D virtual environment [24]: the illusion of three dimensions, smooth temporal and physical changes and a high level of interactivity. These authors began by discussing technical affordances and reported benefits from pedagogy. It is not just the illusion of 3D that is important but genuine 3D involving images recorded from each eye. In this instance, new technology allows for real immersion, characterized by a sense of "presence". However, in itself the new tool is insufficient: Fowler emphasizes that a 3D virtual environment must also be designed to promote learning [25]. He presented a three-stage framework for learning, which involves explanations, constructions and discussion [26], and proposed that different theories concerning VR and pedagogy be combined to create the most effective virtual learning environment. Advances in new technology would be gained by combining these theories to create the best possible tool.

In the surgical field, the results of studies evaluating the benefits of virtual reality-based simulation are most encouraging [27]. VR is a new tool which will allow a greater input from trainees and reduced time spent in the operating room. It could also ensure

patient safety when a surgical procedure is practiced for the first time.

The challenge is to allow each surgeon to have access to an immersive database. The goal is that everyone could participate, and in this way, disseminate skills.

5. Conclusion

New technologies allow us to think about new ways to transmit skills. We can recreate the environment recorded thanks to immersive VR. In this way, sentiments can be closer to those expressed in real life, adding an emotional value.

Recording surgical procedures through the eyes of the main surgeon can provide students with a direct and optimal view: with a VR headset, students can now obtain this first-person viewpoint. Using the methods and concepts involved in virtual learning environments enhances the pedagogic value of these videos.

With these novel technologies, we can create a new way via which to record, watch, and learn. Keeping in mind that it is a new tool, but would absolutely not replaced experience without technologies. We have shown that surgeons are interested in this project. We now need to continue further and demonstrate learning benefits provided by this useful new method.

Financial and technical support

Financial support: M.R. financed the development of this procedure.

Technical support: Rémi Rousseau and Stephane Saffré designed the new software.

Disclosure of interest

M.R. and J.-V. T. own shares in Revinax SAS; Maxime Ros works with Jean-Vincent Trives as co-founders of Revinax. The article presents first step of Revinax project. This is now a company aiming to develop the method presented in this paper. The author N.L. declares that he has no competing interest.

Acknowledgements

Participating investigators: Dr. Christian Herlin, Dr. Antoine Faix, Alice Rolland, Emilie Aloy, Gaétan Poulen, Jérôme Cocheray, Julien Boetto and Marine Le Corre helped in data collection.

Scientific investigators: Prof. Lambert Philippe and Dr. Christophe Bonnel who critically reviewed this work.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuchi.2016.08.004>.

References

- [1] Sturm LP, Windsor JA, Cosman PH, Cregan P, Hewett PJ, Maddern GJ. A systematic review of skills transfer after surgical simulation training. *Ann Surg* 2008;248:166–79, <http://dx.doi.org/10.1097/SLA.0b013e318176bf24>.
- [2] Reznick RK, MacRae H. Teaching surgical skills – changes in the wind. *N Engl J Med* 2006;355:2664–9, <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMra054785>.
- [3] Falk V, Mintz D, Grünenfelder J, Fann JI, Burdon TA. Influence of three-dimensional vision on surgical telemanipulator performance. *Surg Endosc* 2001;15:1282–8, <http://dx.doi.org/10.1007/s004640080053>.
- [4] Alotaibi FE, AlZhrani GA, Sabbagh AJ, Azarnoush H, Winkler-Schwartz A, Del Maestro RF. Neurosurgical assessment of metrics including judgment and dexterity using the virtual reality simulator NeuroTouch (NAJD Metrics). *Surg Innov* 2015, <http://dx.doi.org/10.1177/1553350615579729>.
- [5] Wurnig PN, Hollaus PH, Wurnig CH, Wolf RK, Ohtsuka T, Pridun NS. A new method for digital video documentation in surgical procedures and minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 2003;17:232–5, <http://dx.doi.org/10.1007/s00464-002-9022-4>.
- [6] Heath MD, Cohen-Gadol AA. Intraoperative stereoscopic 3D video imaging: pushing the boundaries of surgical visualisation and applications for neurosurgical education. *Br J Neurosurg* 2012;26:662–7, <http://dx.doi.org/10.3109/02688697.2012.672057>.
- [7] Essex-Lopresti M. The medical film 1897–1997: part I. The first half-century. *J Audio Media Med* 1998;21:7–12.
- [8] Essex-Lopresti M. The medical film 1897–1997: part II. The second half-century. *J Audio Media Med* 1998;21:48–55.
- [9] Hayden EL, Seagull FJ, Reddy RM. Developing an educational video on lung lobectomy for the general surgery resident. *J Surg Res* 2015;196:216–20, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2015.02.020>.
- [10] Brunaud L. Will watching videos make us better surgeons? *J Visc Surg* 2013;150:295–6, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2013.09.005>.
- [11] Tolerton SK, Hugh TJ, Cosman PH. The production of audiovisual teaching tools in minimally invasive surgery. *J Surg Educ* 2012;69:404–6, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsurg.2011.10.017>.
- [12] Magos A, Kosmas I, Sharma M, Buck L, Chapman L, Taylor A. Digital recording of surgical procedures using a personal computer. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 2005;120:206–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejogrb.2004.11.003>.
- [13] Makhni EC, Jobin CM, Levine WN, Ahmad CS. Using wearable technology to record surgical videos. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 2015;44:163–6 [PMID: 25844585. (accessed May 2, 2015)] <http://www.amjorthopedics.com/the-publication/past-issue-single-view/using-wearable-technology-to-record-surgical-videos/f46ac0a880c8371920832c8b9786ea26.html>.
- [14] Lee B, Chen BR, Chen BB, Lu JY, Giannotta SL. Recording stereoscopic 3D neurosurgery with a head-mounted 3D camera system. *Br J Neurosurg* 2015;1–3, <http://dx.doi.org/10.3109/02688697.2014.997664>.
- [15] Piccoli GB, Novaresio C, Mezza E, Soragna G, Rossetti M, Burdese M, et al. Making a movie on kidney transplantation: a medical school graduation thesis to explain kidney transplantation from students to students. *Transplant Proc* 2004;36:2550–2, <http://dx.doi.org/10.1016/j.transproceed.2004.10.025>.
- [16] Naumann DN, Bowley DM, McArthur DR. The director's cut – video editing as a training modality for minimally invasive surgery. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2014;23:188–9, <http://dx.doi.org/10.3109/13645706.2013.866964>.
- [17] Kwan K, Wu C, Duffy D, Masterson J, Blair GK. Lights, camera, surgery: a novel pilot project to engage medical students in the development of pediatric surgical learning resources. *J Pediatr Surg* 2011;46:962–5, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2011.02.029>.
- [18] Hu Y, Tiemann D, Michael Brunt L. Video self-assessment of basic suturing and knot tying skills by novice trainees. *J Surg Educ* 2013;70:279–83, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsurg.2012.10.003>.
- [19] Bowles PFD, Harries M, Young P, Das P, Saunders N, Fleming JC. A validation study on the use of intraoperative video recording as an objective assessment tool for core ENT surgery. *Clin Otolaryngol* 2014;39:102–7, <http://dx.doi.org/10.1111/coa.12240>.
- [20] Mistry M, Roach VA, Wilson TD. Application of stereoscopic visualization on surgical skill acquisition in novices. *J Surg Educ* 2013;70:563–70, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsurg.2013.04.006>.
- [21] DeBoer IR, Wesselink PR, Vervoorn JM. Student performance and appreciation using 3D vs 2D vision in a virtual learning environment. *Eur J Dent Educ* 2015, <http://dx.doi.org/10.1111/eje.12152>.
- [22] Henn JS, Lemole GM, Ferreira MAT, Gonzalez LF, Schornak M, Preul MC, et al. Interactive stereoscopic virtual reality: a new tool for neurosurgical education. *Technical note. J Neurosurg* 2002;96:144–9, <http://dx.doi.org/10.3171/jns.2002.96.1.0144>.
- [23] Mikropoulos TA, Natsis A. Educational virtual environments: a ten-year review of empirical research (1999–2009). *Comput Educ* 2011;56:769–80, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.020>.
- [24] Dalgarno B, Lee MJW. What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *Br J Educ Technol* 2010;41:10–32, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>.
- [25] Fowler C. Virtual reality and learning: where is the pedagogy? *Br J Educ Technol* 2015;46:412–22, <http://dx.doi.org/10.1111/bjet.12135>.
- [26] Mayes JT, Fowler CJ. Learning technology and usability: a framework for understanding courseware. *Interact Comput* 1999;11:485–97, [http://dx.doi.org/10.1016/S0953-5438\(98\)00065-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0953-5438(98)00065-4).
- [27] Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, et al. Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Ann Surg* 2002;236:458–63, <http://dx.doi.org/10.1097/01.SLA.0000028969.51489> [discussion 463–4].

9.3. ANNEXE 3. ARTICLE - UTILISER LE TUTORIEL IMMERSIF EN REALITE VIRTUELLE POUR APPRENDRE A REALISER UNE NOUVELLE TECHNIQUE – *Neurochirurgie (2020)*

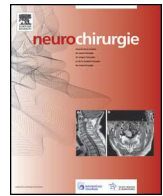


Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



Original article

Applying an immersive tutorial in virtual reality to learning a new technique



Appliquer un tutoriel immersif en réalité virtuelle dans l'apprentissage d'une nouvelle technique

M. Ros^{a,*}, B. Debien^{b,f}, C. Cyteval^{c,f}, N. Molinari^{d,f}, F. Gatto^a, N. Lonjon^{e,f}

^a Education sciences school – LIRDEF, Montpellier university 3, 2, place Marcel-Godechot, 34000 Montpellier, France

^b Medical simulation training center, 641, avenue du Doyen Gaston-Giraud, 34090 Montpellier, France

^c Radiology department, Lapeyronie hospital, 371, avenue du Doyen Gaston-Giraud, 34090 Montpellier, France

^d IT medical department, Lapeyronie hospital, 371, avenue du Doyen Gaston-Giraud, 34090 Montpellier, France

^e Neurosurgery department, Gui de Chauliac hospital, 80, avenue Augustin-Fliche, 34295 Montpellier, France

^f Montpellier medical school, 2, rue de l'École de Médecine, 34090 Montpellier, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 March 2020

Received in revised form 13 May 2020

Accepted 17 May 2020

Available online 2 July 2020

Keywords:

Virtual reality
Surgical training
Neurosurgery
Simulation training
Video-based learning
Experiential learning

ABSTRACT

Objective. – The medical world is continuously evolving, with techniques being created or improved almost daily. Immersive virtual reality (VR) is a technology that could be harnessed to develop tools that meet the educational challenges of this changing environment. We previously described the immersive tutorial, a 3D video (filmed from the first-person point of view), displayed on a VR application. This tool offers access to supplementary educational data in addition to the video. Here we attempt to assess improvement in learning a technique using this new educational format.

Material and methods. – We selected a single neurosurgical technique for the study: external ventricular drainage. We wrote a technical note describing this procedure and produced the corresponding immersive tutorial. We conducted a prospective randomized comparative study with students. All participants read the technical note, and one group used the immersive tutorial as a teaching supplement. The students completed a multiple-choice questionnaire immediately after the training and again at six months.

Results. – One hundred seventy-six fourth-year medical students participated in the study; 173 were included in assessing the immediate learning outcomes and 72 were included at the six-month follow-up. The VR group demonstrated significantly better short-term results than the control group ($P=0.01$). The same trend was seen at six months.

Conclusion. – To our knowledge, this study presents one of the largest cohorts for VR. The use of the immersive tutorial could enable a large number of healthcare professionals to be trained without the need for expensive equipment.

© 2020 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

R É S U M É

Objectifs. – Le monde médical ne cesse d'évoluer avec notamment une multiplication des techniques de soins. La réalité virtuelle immersive (VR), pourrait permettre le développement d'outils qui répondent aux enjeux pédagogiques. Nous avons préalablement décrit le tutoriel immersif. Il s'agit d'une vidéo 3D (filmée en point de vue à la première personne), projetée dans une application VR. Cet outil offre en supplément du film, un accès à d'autres données pédagogiques. L'objectif de notre étude est d'évaluer l'amélioration de la mémorisation d'une technique en utilisant ce nouveau format pédagogique.

Matériel et méthode. – Nous avons sélectionné une technique opératoire neurochirurgicale : la dérivation ventriculaire externe. Nous avons rédigé une note technique décrivant cette procédure et avons produit le tutoriel immersif correspondant. Une étude randomisée prospective comparative a été réalisée auprès

Mots clés :

Réalité virtuelle
Formation chirurgicale
Neurochirurgie
Simulation
Apprentissage basé sur la vidéo
Apprentissage expérientiel

* Corresponding author.

E-mail address: maximeros@gmail.com (M. Ros).

d'étudiants. Tous ont lu la note technique, un groupe utilisait en supplément pédagogique le tutoriel immersif. Les étudiants ont rempli un questionnaire à choix multiple immédiatement après la formation et à six mois.

Résultats. – Cent soixante seize étudiants en quatrième année de médecine ont participé à l'étude, 173 ont été inclus pour évaluer la restitution immédiate des connaissances. Ils étaient 72 à six mois. Le groupe VR a significativement apporté de meilleures réponses à court terme par rapport au groupe contrôle ($p = 0,01$). La même tendance est retrouvée à six mois.

Conclusion. – À notre connaissance, ce travail présente l'une des plus grandes cohortes étudiant la VR. L'utilisation du tutoriel immersif pourrait permettre, sans équipements onéreux, de former en grand nombre des professionnels de santé.

© 2020 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

1. Introduction

The revival of virtual reality (VR) in its immersive form occurred in 2012 with the incorporation of the Oculus Company.

VR systems, at first non-immersive (i.e., used without a headset), have been used in the medical field since the 1990s. The first applications were educational tools designed to help users understand autistic behavior [1]. In training situations, VR was first used by pilots [2]. Now, there are many various applications, and the number of articles on VR published on the website of the US National Library of Medicine (pubmed.gov) is growing exponentially. Our immersive tutorial in VR is a mobile application to showcase a technical procedure [3]. The tutorial comprises a main screen where a movie is projected, with content on each side. Creating the tutorial involves three steps. First, the surgical procedure is recorded in 3D from the expert's point of view (using the equipment worn by the surgeon performing the procedure). Second, the movie is organized into chapters corresponding to the different steps of the surgery (with calibration and synchronization of the two videos). Finally, clinical, imaging and drawing data are incorporated into the tutorial. This immersive tutorial in VR uses different pedagogical features that have independently proven their efficacy in improving learning. Firstly, the use of immersive VR itself provides an experience close to reality, instead of just watching a scene. The 3D experience adds depth, lending even more realism to the scene. According to Fowler [4], immersion provides a feeling of presence (the user feels as if he or she were in the environment) and of copresence (the user feels as if other people were part of this environment), which are the best criteria for a successful 3D VR learning environment. The first-person point of view has been shown to improve the learning of new gestures. Mirror neurons are usually activated [5] when the learner sees someone else performing a procedure. If this procedure is viewed from a first-person perspective, cognitive load is lower [6], and trainees are more able to replicate the procedure. Finally, the possibility of interacting with pedagogical data is inspired by e-learning methodology: having everything available to enable understanding [7], as a blended learning tool.

The most two common ways to create VR content are computer-generated images (CGI) and 360° videos [8]. In a previous study, we described another method: 180° videos with first person point of view (FPPoV) [3]. The idea of this user interface is to provide a new way to learn a technical note. We detailed our step-by-step method and showed that our concept was interesting for healthcare professionals: they were willing to adopt it, saying they understood better and would learn faster. In a very first step, to understand the interest of this 180° FPPoV method, we wanted to assess knowledge acquisition of a technical note. Virtual Reality literature combined different VR approaches, different protocols with different ways to assess efficiency (knowledge test versus transfer test). Regarding knowledge acquisition, 360° video has demonstrated significantly higher engagement but not higher retention [9], and CGI has not

shown superiority [10]. Here, we wanted to determine whether this type of VR experience (180° FPPoV) could improve memorization of a medical procedure in addition to a standard note. We selected a simple short surgical intervention. In the neurosurgical field, the positioning of a drain in the brain's ventricular system is usually quickly learned, but neurosurgical trainees must fulfill certain prerequisites before they are able to perform the procedure safely and optimally. The acquisition of these prerequisites by young medical students, before entering residency, is evaluated.

2. Material and methods

The procedure presented here was external ventricular drainage (EVD). We described the main surgical points in a technical note and designed a specific immersive tutorial.

We wrote a technical note with two senior surgeons of the neurosurgery department. This note described the way EVD is usually taught in different hospitals. The first part of the note concerned general indications and pathophysiology. Then, each step was precisely described: patient positioning, preparation, opening, approach, draining, drain fixation, and closing.

For the immersive tutorial, first, the 3D movie was recorded using the Revinax® method (device worn by the surgeon to record his or her point of view). The movie was edited and divided into 4 chapters: preparation, approach, puncture, fixation/closure. Then, on the left side of the screen, we added the preoperative CT-scan showing ventricular dilatation due to subarachnoid hemorrhage. On the right side, we added the 3D model obtained from the post-operative CT-scan showing the skull and trajectory of the drain through the ventricles (Fig. 1). We recorded a voice-over to explain the different steps. The comments corresponded to the practical description of the technical note.

A survey was developed by two senior surgeons in the neurosurgical department of the University Hospital of Montpellier, and checked by two other specialists: a specialist in medical simulation and another in education sciences at the University of Montpellier. This survey was composed of 10 questions (Appendix). The first question was whether the respondent had already been involved in this procedure in an operating room. The next questions were multiple-choice (5 per question). The questions concerned indications, patient management, and preparation until the incision. The second part of the survey focused on the technical aspect of the procedure.

The study was performed in the Medical Simulation Center of the Montpellier Medical School. This work was approved by the institutional review board of the Collège de Neurochirurgie (Comité d'éthique de la recherche en neurochirurgie – IRB 00011687). The students involved were in their 4th year of medical studies (2 years before residency). The entire group joined the study at the end of their lessons. The students were informed about the study, its design and aims, and gave their consent before starting. They were

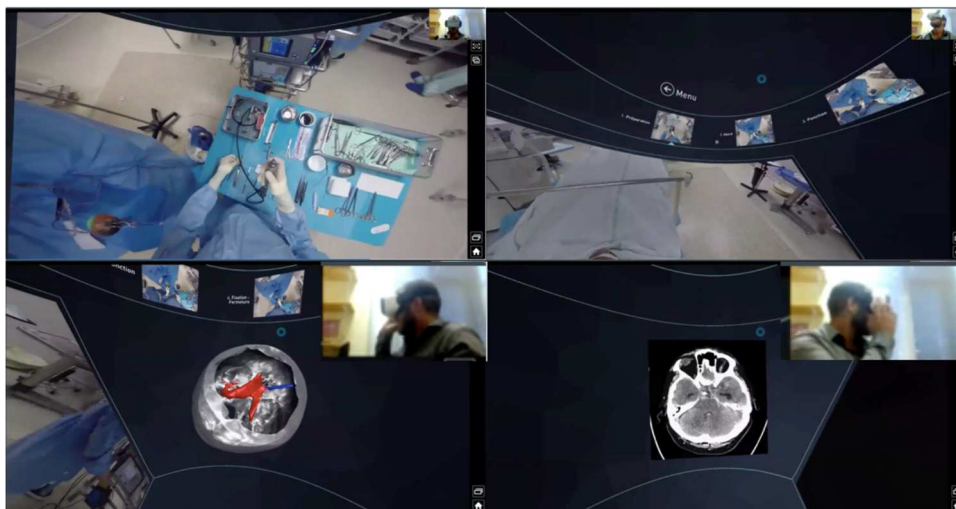


Fig. 1. User experience of the EVD immersive tutorial. User interface for the experience created for this study. Straight ahead: the main screen is playing a 3D video from a first-person point of view (upper picture). On the right side of the main screen: other pedagogical content (here, a 3D model) is displayed. Users can rotate the content (lower left picture). On the left side of the main screen: other content (here, a CT-scan) is displayed. User can switch different slides (lower right picture).

randomly divided into two groups. Group A had 7 minutes to read the printed technical note for the EVD procedure. Group B had the same amount of time to read the note; they then went through the immersive experience. The immersive experience was displayed on a Samsung® Gear VR (Samsung Electronics, Seoul, South Korea) and lasted 7 minutes.

Then, each group had to complete the survey. Students who had already seen this procedure in the operating room were excluded. The remaining students received 1 point if they answered correctly. If they made one mistake, they received 0.5 points; those students who made two mistakes received 0 points.

Six months later, the same form was sent to students by e-mail to analyze medium-term difference. Those who had been involved in an EVD between the first and second test were excluded.

Statistical analysis used a Wilcoxon rank-sum test with continuity correction (statistical department of Montpellier university hospital). A P -value < 0.05 was considered a significant difference.

3. Results

One hundred seventy-six students participated in the study (Fig. 2). Three were excluded because they had already participated in an actual EVD inside an operating room. Of the remaining 173 participants, 88 belonged to Group A (51% female, 49% male). The students in this group received a technical note. Group B (which trained using VR) consisted of 85 students (54% female, 46% male).

The detailed results are shown in Table 1, and final results in Fig. 3. Group B had significantly better results ($P=0.01$) in answering the questionnaire, with a mean score of 5.17 [$SD \pm 1.29$] and a median score of 5 (95% CI: 4.5–6), compared to Group A with a mean score of 4.59 [$SD \pm 1.4$] and a median score of 5 (95% CI: 3.5–5.5).

Group B better answered questions more specifically related to operative technique (i.e., gestures), with significant differences for questions 6 ($P=0.017$) and 10 ($P=0.02$). A similar trend could be seen for question 7, although the difference was not significant ($P=0.07$).

Six months later, 80 students replied to the survey. Eight were excluded because they had participated in an actual EVD in the operating room between the first and the second survey. Thirty-five belonged to group A and 37 to group B.

The results showed similar trends at six months, but without significant difference ($P=0.19$). Mean score for Group A was 3.19

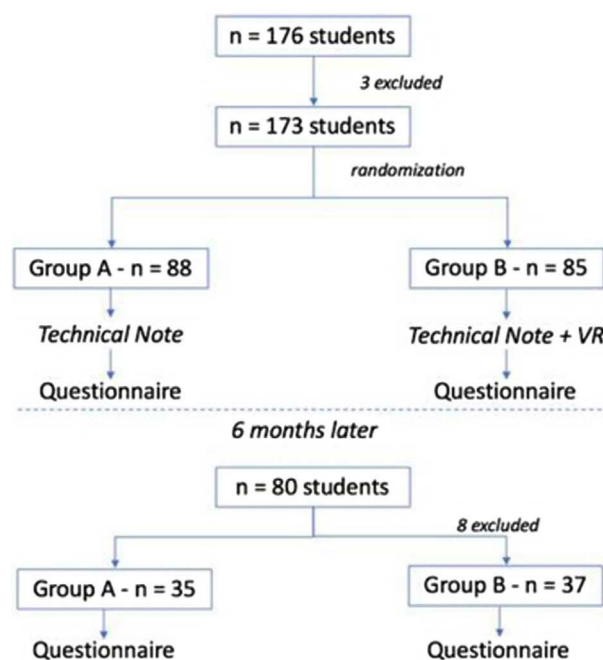


Fig. 2. Study flowchart.

[$SD \pm 1.44$] with a median of 3 (95% CI: 2–4); for group B the mean score was 3.57 [$SD \pm 1.35$] with a median of 3.5 (95% CI: 3–4.5).

4. Discussion

We showed that an immersive VR tutorial improved retention of knowledge. Short-term acquisition was better in the VR group. Another recent study [11], using VR for nursing skills, found no difference between the group using VR and the group receiving conventional training. The authors reported the same postinterventional improvements and lower retention scores at six months, and concluded that VR was at least as good as conventional training. We agree with their conclusion that best practices need to be defined: assessing the correct use of VR in training is crucial.

What remains challenging to establish clear guidelines for VR use concerns the wide variety of and different intentions for how

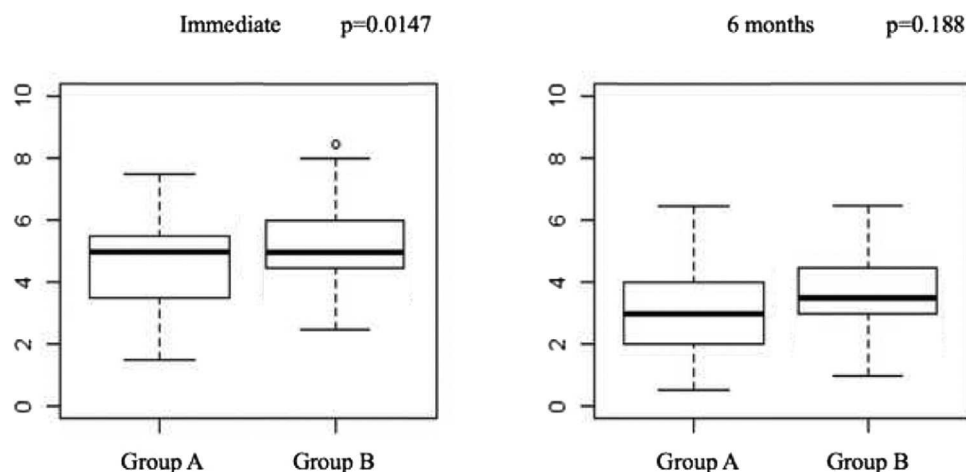


Fig. 3. Immediate and mid-term results (Wilcoxon rank-sum test): Group B had significantly better results immediately after; same trend at six months.

VR environments are implemented within a given curriculum. Which VR studies are consistent, reliable and comparable in best addressing the issue of standardizing key factors for using VR in best pedagogical practices for educating the next generation of learners? It may very well depend on the type of VR that is studied (e.g., CGI, 360° video, 180° video, etc.), since the pedagogical objectives (i.e., theoretical, procedural, practical knowledge, etc.), what they are compared against (e.g., books, videos, lectures, physical simulation, etc.) and what type of assessment is used may lead to confusing indications between declarative knowledge, skills and competency, which do not involve the same psychological resources. Here we decided to focus on one type of VR content, and understanding step-by-step what could be its indications.

We do not think VR can replace traditional education, but VR is probably valuable as a supplementary tool. If people can understand better and faster thanks to this tool, it could save time compared to regular training, enabling more people to be trained. Designing the best practice involves understanding when VR should be used: before, during or after a formal lesson. In a study on mastoidectomy, Andersen et al. [12] showed that using VR before a training course increased benefit and subsequently achieved better results.

How can VR improve retention? VR probably helps the user to understand better and may thus optimize the benefit of a lesson. Various studies focusing on the use of VR in different learning contexts, with different kinds of content (360° video [9]/CGI [13]/FPPoV Videos [3]) were unanimous that learners are more involved and say they understand better. These benefits may come from reducing “task-unrelated images or thoughts” [9] thanks to the immersive characteristic of these experiences. Indeed, blinding students to the actual environment increases their focus.

There are different ways of creating and thinking about an immersive experience: the instructional design of the VR experience is essential. We proposed tutorials, not direct interaction, except for additional data depicted in the environment. One of the main advantages of the immersive tutorial is that it enables the user to experience from a first-person point of view: to learn through “the expert’s own eyes”. An interesting study by Fiorella et al. [14] compared learning a procedure from a first-person point of view versus learning from the opposite side. Compared to the FPPoV group, “learning from the opposite side” led to 50% more mistakes in reproducing the assembly of an electronic system. These results may be explained by the way mirror neurons [5] work with less “cognitive load” [6].

We not only used 3D videos but also added some relevant pedagogical data (CT-scan and the corresponding 3D model) in the rest

of the virtual environment. In surgical education, learning begins with the study of anatomy. The possibility offered by VR of taking an “anatomic journey”, rotating and entering into a 3D organ to become familiar with the environment, is interesting. VR is not only a fun way to learn; it improves understanding, as it is possible to see an environment from various angles. Concerning neuroanatomy, Ekstrand et al. [15] found no difference in effectiveness between VR and books as learning tools; VR prevented “neurophobia” in 175 students, and the authors stated that the results were encouraging. In cardiac anatomy, Maresky et al. [13] found improvements in results after learning through VR; VR helped students to have a better understanding of the organ itself and its functioning. In the present study, the 3D model was a reconstruction of the skull with transparent parts showing the location of the ventricular system and the trajectory of the drain. In our immersive experience, the students could play with the model. They could move and rotate the model as many times as necessary to optimize understanding of the drain’s trajectory.

Experiencing it in VR gives a better understanding of a situation or context. Another approach to teaching is empathy: this emotion can be used to understand the patient’s experience. Dyer et al. [16], for example, focused on the possibility of feeling what older people feel: the empathy approach can help students better understand their patients or a situation. In our study, we did not separate questions about cognitive knowledge from the ones about psychomotor skills. The number of questions that students were asked may have been too small to achieve discrimination. In a subsequent study, we could also think about a new way to present indications by showing a patient (or an actor) in context, instead of putting them in a paper note.

So far, only some students have tried VR, and this can lead to two biases. The first one is the motivation to participate in the study: students were disappointed when they were randomly assigned to the non-VR group. Noticing this in our preliminary study, we decreased this bias by offering a VR experience to students from the non-VR group once they finished their exercise. Conversely, some students belonging to the VR group discovered VR for the first time in beginning the study; they were at first distracted and looking all around before starting the learning experience, after which they were much more focused than the non-VR group. However, here again, we could have another bias: what happens behind the mask? Is the student actively watching? Suppose they had their eyes closed during the whole experience? The quality of VR continues to improve, but some people still feel dizziness. Sometimes, this is not actual motion sickness but just an uneasiness that occurs when using VR for the first time. During our study, no one asked

Table 1
Detailed immediate and mid-term results.

	Cluster without VR (A)	Cluster with VR (B)	P-value
Q2			0.347
0	12 (7%)	14 (8%)	
0.5	33 (19%)	25 (14%)	
1	40 (23%)	49 (28%)	
Q3			0.791
0	18 (10%)	21 (12%)	
0.5	44 (25%)	41 (24%)	
1	23 (13%)	26 (15%)	
Q4			0.455
0	2 (1%)	5 (3%)	
0.5	2 (1%)	1 (1%)	
1	81 (47%)	82 (47%)	
Q5			0.356
0	16 (9%)	19 (11%)	
0.5	29 (17%)	37 (21%)	
1	40 (23%)	32 (18%)	
Q6			0.017
0	25 (14%)	44 (25%)	
0.5	26 (15%)	16 (9%)	
1	34 (20%)	28 (16%)	
Q7			0.07
0	30 (17%)	33 (19%)	
0.5	21 (12%)	33 (19%)	
1	34 (20%)	22 (13%)	
Q8			0.343
0	49 (28%)	53 (31%)	
0.5	21 (12%)	26 (15%)	
1	15 (9%)	9 (5%)	
Q9			0.474
0	21 (12%)	22 (13%)	
0.5	30 (17%)	38 (22%)	
1	34 (20%)	28 (16%)	
Q10			0.002
0	34 (20%)	55 (32%)	
0.5	31 (18%)	27 (16%)	
1	20 (12%)	6 (3%)	
Total – immediate	4.59 ± 1.4 5 [3.5; 5.5]	5.17 ± 1.29 5 [4.5; 6]	0.0146
Q2.6			0.347
0	11 (15%)	9 (12%)	
0.5	11 (15%)	16 (22%)	
1	15 (21%)	10 (14%)	
Q3.6			0.505
0	7 (10%)	8 (11%)	
0.5	22 (31%)	23 (32%)	
1	8 (11%)	4 (6%)	
Q4.6			0.125
0	15 (21%)	22 (31%)	
0.5	1 (1%)	0 (0%)	
1	21 (29%)	13 (18%)	
Q5.6			0.292
0	19 (26%)	20 (28%)	
0.5	13 (18%)	7 (10%)	
1	5 (7%)	8 (11%)	
Q6.6			0.389
0	17 (24%)	19 (26%)	
0.5	15 (21%)	9 (12%)	
1	5 (7%)	7 (10%)	
Q7.6			0.357
0	23 (32%)	16 (22%)	
0.5	11 (15%)	14 (19%)	
1	3 (4%)	5 (7%)	
Q8.6			0.367
0	19 (26%)	23 (32%)	
0.5	13 (18%)	10 (14%)	
1	5 (7%)	2 (3%)	
Q9.6			0.105
0	17 (24%)	19 (26%)	
0.5	7 (10%)	11 (15%)	
1	13 (18%)	5 (7%)	
Q10.6			0.256
0	19 (26%)	12 (17%)	
0.5	15 (21%)	21 (29%)	
1	3 (4%)	2 (3%)	
Total – 6 months	3.19 ± 1.44 3 [2; 4]	3.57 ± 1.35 3.5 [3; 4.5]	0.1858

Immediate and mid-term detailed results: questions (Q) were multiple-choices (5 choices per question). Students received 1 point if they answered correctly. If they made one mistake, they received 0.5 points; students who made two mistakes received 0 points.

to remove the headset. Maybe some did not want to say anything in front of the group, and therefore kept their eyes closed. Eye-tracking devices could help to avoid this bias.

The present study required at least 100 people to obtain significant results. The trend in favor of better results was still present at six months but was no longer significant. Even though the response rate was more than one-third at six months, we did not succeed in reaching cutoff. In the next study, we should also try to have another session three months after the first one, to repeat VR exposure and see if it reinforces learning and if we can maintain retention, as certain authors mentioned a dose-response relationship with number of exposures [12]. Thus, it would be interesting to compare iterative VR exposure with the present findings, to see if the difference is maintained or not.

The present study is very much just a first step toward understanding the potential of VR, and especially the immersive tutorial. Here we wanted to assess memorization. Group B did best in questions which were more specifically related to operative technique (questions 6, 7 and 10). In our approach, VR appeared to be more relevant to practical knowledge than theory. We chose as a first step a specialized surgical procedure, to be sure the students tested did not already know this process. As we were studying the learning effects of this new tool, we could not take the risk of negative learning affecting students' memorization of a crucial method they would have to know. We decided to implement VR first in addition to a technical note, as a complementary tool. To complete our understanding, future studies will have to compare VR with lectures, video and physical simulators. The next crucial step will be to assess knowledge transfer, with an assessment based on a Script Concordance Test and with a procedural hands-on evaluation method. In this way, other items apart from memorization could be included (psychometric considerations, procedure duration, etc.). The present study does not claim to show that VR trainees perform the procedure better, but they are able to remember the steps better. Thus, VR could be used as a tool for better understanding, or to refresh before performing a procedure. Description of the learning journey is part of designing best practices.

Another promising application of VR is preoperative surgical planning. VR has been shown to improve the accuracy of surgical gestures [17] for a spine procedure. We can imagine in the future operating first in VR, acquiring the perfect gesture. Before being able to achieve this, we can at least learn better and review a technique more efficiently.

Limitations for using VR usually concern content creation cost, development time, the cost of dedicated hardware (i.e., headsets and computers), and the time needed to train people on how to set and use the headset. There are several attempts to facilitate content creation and reduce cost (a CGI surgical simulator may cost more than \$ 100,000) [18]. Choosing video-based content accelerates creation. Deployment through a mobile/autonomous head-mounted display makes facilitates implementation.

One of the values of VR immersive tutorials is that they aim to be affordable, easy to share, and efficient; these benefits can address the problems reported by WHO concerning surgical training in any part of the world [19]. Not everyone can afford to have access to a laboratory or a simulation training center.

We showed that our immersive VR tutorial can improve memorization (a theoretical assessment). Further studies will explore subsequent performance of gestures (practical assessment).

5. Conclusion

We attempted to combine VR (to make subjects more involved by providing an immersive experience), a first-person point of view (to change the usual way of learning a procedure), and interactive

data. Our results showed a significant improvement after the students had this experience. We can already affirm that VR immersive tutorials would be a good way to refresh one's surgical skills just before performing a procedure.

Human and animal rights

The authors declare that the work described has been carried out in accordance with the Declaration of Helsinki of the World Medical Association revised in 2013 for experiments involving humans as well as in accordance with the EU Directive 2010/63/EU for animal experiments.

Informed consent and patient details

The authors declare that this report does not contain any personal information that could lead to the identification of the patient(s) and/or volunteers.

Disclosure of interest

Dr Maxime ROS is a neurosurgeon. He was practicing at the Montpellier University Hospital before founding Revinax[®], the company that developed and created the methodology for the immersive first person POV tutorials as described herein. The other authors declare that they have no competing interest.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Author contributions

All authors attest that they meet the current International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) criteria for Authorship.

Appendix A. Appendix

QUESTIONNAIRE:

1/Have you ever attended an external ventricular drainage procedure? Yes - No

2/The EVD procedure is:

A/a neurosurgical procedure,

B/performed under the same conditions as lumbar puncture,

C/used to treat an acute increase in ventricular volume,

D/an iterative treatment for hydrocephalus,

E/the indication is based on a clinical triad and brain scan should not delay implementation.

3/The EVD procedure is performed:

A/at the patient's bedside because of its urgent nature,

B/under maximum sterile conditions,

C/in the operating room under local anesthesia,

D/systematically due to acute hydrocephalus secondary to a CSF production disorder,

E/in the operating room after the development of a small skull flap.

4/During EVD, the patient is positioned:

A/prone, head in the axis,

B/supine, head in left rotation,

C/supine, head in the axis,

D/in left lateral decubitus,

E/supine, head hyperextended.

5/Important markers that allow one to perform an EVD safely:

A/the mid-pupillary axis and the median line are indispensable markers,

B/the implantation of the catheter is on an orthogonal trajectory to the skull,

C/the approach is usually on the right,

D/the coronal suture is not one of the markers,

E/the mastoid is a useful marker for ventricular puncture.

6/Opening the skull:

A/is not essential for a simple EVD,

B/is performed with a trocar and hammer,

C/requires the use of a drill,

D/is concomitant with the opening of the dura mater,

E/is performed by directing a tool in an oblique axis towards the pupillary mark.

7/Concerning the introduction of the catheter into the brain:

A/this is done according to a precise axis with cranial markers,

B/the catheter is always orthogonal to the bone,

C/the procedure takes as reference the pupillary axis and the mastoid,

D/the procedure involves moving toward the contralateral medial canthus,

E/there is no sensation until 7 cm of the catheter has been introduced.

8/Regarding collection of cerebrospinal fluid (CSF):

A/the CSF is obtained after at least 7 cm of the catheter has been introduced,

B/the collection of CSF is not systematic immediately after puncture,

C/when CSF is flowing, the guide has to be removed,

D/in case of failure, the puncture is made on the contralateral ventricle,

E/it may be necessary to lower the end of the catheter to obtain a flow.

9/In the absence of immediate collection of CSF:

A/this is a frequent situation, and should not change the process,

B/it is necessary to continue the introduction of the catheter until it is 10 cm from the skull,

C/it is necessary to leave the catheter in position and modify the trajectory,

D/after three failures, it may be necessary to control positioning on CT,

E/it is necessary to introduce a second catheter to puncture the contralateral ventricle.

10/After obtaining the CSF, you must:

A/remove the guide immediately, taking care not to mobilize the catheter,

B/immediately close the incision on the catheter to fix it,

C/take a sample for systematic analysis,

D/introduce 1 cm of the catheter after removing the guide so that the catheter is in the middle of the ventricle,

E/tunnel the catheter away from the incision and then fix it to the skin so that it does not move.

Appendix B. Supplementary data

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version at: <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2020.05.006>.

References

- [1] Max ML, Burke JC. Virtual reality for autism communication and education, with lessons for medical training simulators. *Stud Health Technol Inform* 1997;39:46–53.
- [2] Virtual reality – the origin of virtual reality. [Accessed on 7th January 2019. Available from: <http://science.jrank.org/pages/7196/Virtual-Reality-origin-virtual-reality.html>].

- [3] Ros M, Trives J-V, Lonjon N. From stereoscopic recording to virtual reality headsets: designing a new way to learn surgery. *Neurochirurgie* 2017;63(1):1–5.
- [4] Fowler C. Virtual reality and learning: where is the pedagogy? *Br J Educ Technol* 2015;46(2):412–22.
- [5] Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci* 2004;27(1):169–92.
- [6] Van Gog T, Paas F, Marcus N, Ayres P, Sweller J. The mirror neuron system and observational learning: implications for the effectiveness of dynamic visualizations. *Educ Psychol Rev* 2008;21:21–30.
- [7] Ruiz JG, Mintzer MJ, Leipzig RM. The impact of e-learning in medical education. *Acad Med* 2006;81(3):207.
- [8] Pottle J. Virtual reality and the transformation of medical education. *Future Healthc J* 2019;6(3):181–5.
- [9] Harrington CM, Kavanagh DO, Wright Ballester G, Wright Ballester A, Dicker P, Traynor O, et al. 360° operative videos: a randomised cross-over study evaluating attentiveness and information retention. *J Surg Educ* 2018;75(4):993–1000.
- [10] Makransky G, Terkildsen TS, Mayer RE. Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learn Instr* 2019;60:225–36.
- [11] Smith SJ, Farra SL, Ulrich DL, Hodgson E, Nicely S, Mickle A. Effectiveness of two varying levels of virtual reality simulation. *Nurs Educ Perspect* 2018;39(6):E10–5.
- [12] Andersen SAW, Foghsgaard S, Cayé-Thomasen P, Sørensen MS. The effect of a distributed virtual reality simulation training program on dissection mastoidectomy performance. *Otol Neurotol* 2018;39(10):1277–84.
- [13] Maresky HS, Oikonomou A, Ali I, Ditkofsky N, Pakkal M, Ballyk B. Virtual reality and cardiac anatomy: exploring immersive three-dimensional cardiac imaging, a pilot study in undergraduate medical anatomy education. *Clin Anat N Y N* 2018;32:238–43, <http://dx.doi.org/10.1002/ca.23292>.
- [14] Fiorella L, van Gog T, Hoogerheide V, Mayer R. It's all a matter of perspective: viewing first-person video modeling examples promotes learning of an assembly task. *J Educ Psychol* 2017;109:653–65.
- [15] Ekstrand C, Jamal A, Nguyen R, Kudryk A, Mann J, Mendez I. Immersive and interactive virtual reality to improve learning and retention of neuroanatomy in medical students: a randomized controlled study. *CMAJ Open* 2018;6(1):E103–9.
- [16] Dyer E, Swartzlander BJ, Gugliucci MR. Using virtual reality in medical education to teach empathy. *J Med Libr Assoc* 2018;106(4):498–500.
- [17] Zheng C, Li J, Zeng G, Ye W, Sun J, Hong J, et al. Development of a virtual reality preoperative planning system for post-lateral endoscopic lumbar discectomy surgery and its clinical application. *World Neurosurg* 2018;123:e1–8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2018.08.082>.
- [18] Parham G, Bing EG, Cuevas A, Fisher B, Skinner J, Mwanahamuntu M, et al. Creating a low-cost virtual reality surgical simulation to increase surgical oncology capacity and capability. *ecancermedalscience*; 2019 [Accessed on 16th April 2020. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6445537/>].
- [19] Meara JG, Leather AJM, Hagander L, Alkire BC, Alonso N, Ameh EA, et al. Global Surgery 2030: evidence and solutions for achieving health, welfare, and economic development. *Lancet* 2015;386(9993):569–624.

9.4. ANNEXE 4. ARTICLE - LES EFFETS D'UNE APPLICATION EN REALITE VIRTUELLE IMMERSIVE, BASEE SUR LA VIDEO EN POINT DE VUE A LA PREMIERE PERSONNE, SUR L'APPRENTISSAGE ET LES PERFORMANCES LORS DE LA GENERALISATION D'UNE PROCEDURE MEDICALE DE PONCTION LOMBAIRE – *Educational Technology Research and Development (2021)*

RÉSUMÉ

Objectifs

Le domaine médical est en constante évolution et du fait des avancées technologiques, les nouvelles procédures médicales requièrent des compétences fiables, précises et efficaces dans les pratiques qui impliquent des patients. Une des façons avec laquelle ces techniques pourraient être enseignées pour parvenir à ces objectifs est à l'aide de tutoriels immersifs en Réalité Virtuelle qui emploient une vidéo 3D (filmée en point de vue à la première personne – FPV), projetée dans une application en VR Immersive (IVRA-FPV). Ce dispositif pédagogique qu'est l'IVRA-FPV offre en plus de la vidéo de la procédure médicale l'accès à un contenu éducationnel ainsi qu'à des données supplémentaires.

Méthodes

La présente étude a cherché à évaluer la valeur pédagogique de la formation avec l'IVRA-FPV en comparaison à une leçon traditionnelle qui enseignait aux participants comment implémenter une procédure médicale de ponction lombaire. La procédure de ponction lombaire a été filmée et le tutoriel immersif correspondant à l'enseignement classique a été produit pour l'IVRA-FPV à partir du contenu utilisé habituellement pour enseigner cette procédure. Nous avons alors réalisé une étude prospective randomisée comparative avec quatre-vingt-neuf étudiants en médecine répartis en deux groupes : un groupe bénéficiant de l'enseignement traditionnel (n = 44), et un groupe utilisant le tutoriel IVRA-FPV (n = 45). Chaque participant a alors été évalué sur sa compréhension de la procédure de ponction lombaire alors qu'il réalisait la technique sur un mannequin pour envisager la généralisation de leurs compétences apprises.

Résultats

Les participants qui ont assisté à la leçon traditionnelle ont présenté de meilleures réponses lors de l'évaluation orale ($p < 0.001$). De façon intéressante, il y avait une tendance sans différence significative entre les groupes, concernant l'évaluation de la généralisation de leurs compétences de la ponction lombaire ($p = 0.78$ n/s). Remarquablement, l'efficacité avec laquelle la généralisation des compétences a été implémentée à la fois correctement et avec une durée plus courte a été significative pour le groupe d'apprentissage immersif ($p < 0.01$).

Conclusion

L'utilisation du tutoriel immersif IVRA-FPV a prouvé donner des résultats égaux de compréhension pour l'apprentissage de la ponction lombaire. Lorsque sont évalués les résultats de l'application de cet apprentissage, le groupe IVRA-FPV a réalisé la procédure plus efficacement en moins de temps, avec moins d'erreurs. Ces résultats suggèrent que l'apprentissage immersif avec l'IVRA-FPV pourrait augmenter l'efficacité avec laquelle les professionnels de santé peuvent, dans une période courte, implémenter des techniques dans des situations réelles, de façon fiable et correcte. Un tel dispositif pédagogique pour apprendre rapidement les procédures médicales pourrait aider à réduire les temps chirurgicaux, la durée de l'anesthésie, et ainsi réduire les préjudices et complications des procédures médicales. De plus, l'IVRA-FPV possède l'avantage de pouvoir former un plus grand nombre d'étudiants en médecine et de futurs professionnels de santé sans nécessité d'investir dans un équipement onéreux.



The Effects of an Immersive Virtual Reality Application in First Person Point-of-View (IVRA-FPV) on The Learning and Generalized Performance of a Lumbar Puncture Medical Procedure

Maxime Ros¹ · Lorenz S. Neuwirth^{2,3} · Sam Ng⁴ · Blaise Debien⁵ · Nicolas Molinari^{6,7} · Franck Gatto¹ · Nicolas Lonjon^{5,7}

Accepted: 13 May 2021

© Association for Educational Communications and Technology 2021

Abstract

Medical procedures require skilled reliability, precision, and efficiency. One way in which techniques could be taught to address these requirements is through immersive tutorials in virtual reality (VR), that employ a 3D video (filmed from the first-person point-of-view [FPV]), which is then displayed through an immersive VR application (IVRA-FPV). The present study assessed the pedagogical value of the IVRA-FPV training that taught participants how to implement a lumbar puncture. This procedure was recorded and the corresponding IVRA-FPV tutorial was produced. Medical users/learners ($N=89$) were subjected to a prospective randomized comparative study comprised of one group that was assigned to the traditional lecture ($n=44$) and the other group to the IVRA-FPV tutorial ($n=45$). Each participant was then evaluated as they demonstrated the technique on a mannequin to assess their applied learning skillset generalization. Participants that attended the traditional lecture exhibited better answers during oral examination ($p < 0.001$). There was a trend with no significant difference regarding the evaluation of their applied learning skillset generalization ($p = 0.78$ n/s). When evaluating the applied learning outcomes for implementing the lumbar puncture, the IVRA-FPV group performed the procedure more efficiently with less errors and in less time ($p < 0.01$). These findings suggest that the IVRA-FPV training may increase the efficiency, by which a larger number of professionals can, in a short time-period, implement techniques reliably and correctly in real-world situations, without the need for expensive equipment.

Keywords Computer assisted instruction · Educational technology · Lumbar puncture · Medical education · Simulation training · Surgical training · Video-based learning · Virtual reality

✉ Maxime Ros
maximeros@gmail.com; maxime.ros@revinax.net

Extended author information available on the last page of the article

Introduction

Theoretical Background

The medical field is continuously evolving at an unprecedented pace for the advancement of knowledge. The rapid development of the medical field has occurred in parallel to the advancement of technology (Kabene & Wolfe, 2010; Davis, 2010; Shellton et al., 2017), yet more often than one might think, the problems experienced by medical professionals in the field are what stimulates the development of new technologies to address these specific issues (Hieu et al., 2005; Pazemenas, 2000; Siuly & Zhang, 2020). Further, as these issues are addressed, newer technologies are developed for medical education with the goal to make medical procedures more accurate, efficient, and reliable in an effort to minimize error and maximize patient outcomes (Perez, 2016; Vallurupalli et al., 2013). Students and professionals are facing this rapid demand of and required technical training for new technologies to perform medical techniques annually. However, this situation presents an additional risk of certain areas of the medical field being priced out of or falling behind with technology based upon affordability and is further compounded by how long it takes the user to acquire and become proficient in the skills necessary to use such tools. This inadvertently increases the risk of causing both a user-knowledge as well as technology accessibility gaps in the medical fields, that in turn, may negatively influence patient treatments.

Advanced Technologies in Medical Education

How can medical personnel receive the necessary training for such technologies in high demand and address the given learning time constraints? Fundamentally, in order to appropriately address this problem in the field, addressing how medical professionals learn any procedure or technique is a prerequisite skill often overlooked? In order to facilitate such trainings, there are physical simulators (*i.e.*, benches, mannequins, 3D printed models, etc.), virtual reality (VR) or animal/cadaver laboratories to help foster skill acquisition and proficiency when it comes to surgery. The typical VR has the unique advantage to reconstruct an entire learning environment to promote context-dependent learning. As a consequence, the user/learner is able to interact with the learning materials and stimuli with little to no risks, learn to be proficient by reducing errors, and then to reproduce a procedure to become efficient in implementing the same procedure when generalizing the skill to the real-world environment. Furthermore, the use of VR technology has also been used in medical education to model, through similar artificial instructional formats, patient-specific virtual reality (PSVR) simulations of a variety of surgical procedures corroborating the ongoing evolution to blend technology with medical procedures directed towards patient treatment, care, and health outcomes (Willaert et al., 2012). The push-pull system of problem-based solution driven technology (*i.e.*, VR-to-real-world or VR-to-PSVR-to-real-world) has become the impetus for medical education in today's modern world, which can be evidenced by mixed-model approaches in clinical practice with virtual reality technologies (Nowak et al., 2019).

Interestingly, VR at first was a way to capture everything from what would otherwise occur in the physical learning experience to be simulated within the VR head mounted display (*i.e.*, hereon referred to as headset). Yet, the inherent problematic aspects of the

hardware and the need for a dedicated area in which to physically and freely move while learning through these headsets, as a byproduct, reduced initial enthusiasts. Furthermore, the lack of haptic feedback (or the prohibited price to obtain this feedback within VR) makes the physical simulators still relevant despite other technological advances. The later point is imperative as it creates the argument: Given the limitations of VR, what then are the learning advantages through such technologies? The limitations of VR can be overcome through immersive virtual reality (IVR) as its main advantage is through the engagement it can provide through proper instructional design (Harrington et al., 2018). When the instructional design is built in the proper manner (*i.e.*, without overloading the user/learner) it helps to decrease the cognitive load, and as a result, it can avail more attentional processes that facilitate the user/learner to improve their memorization (Ros et al., 2020a, b, 2020c).

Learning with Virtual Reality

However, although useful to some extent, there is more to learning a new technique than the mere exposure to or modeling of the technique (Ende, 2020; Iwata & Gill, 2013; *i.e.*, learning by watching/shadowing others) and VR may be a modern substitute for physical shadowing of medical professionals (Dang et al., 2018) that raises the following question: How does one learn the different steps of any procedure before performing it for the first time, in clinical practicum through mock patients, on a TV simulator, or even VR? Notably, beyond the development of such medical education technologies lies the most important variable, the user/learner interfacing and their generalized learning outcomes from such medical advancements. There is a fine line where “*the art of medicine*” can appear to become quickly automatized in a world heavily dependent upon technology, and as a result, allied healthcare professionals face pressures that required them to perform medical procedures rapidly and without error. Further, these allied healthcare professionals need to be proficient in technologies associated with their medical skillsets (Seago et al., 2002). This situation requires modern medical users/learners to coordinate their traditional medical education with new technologies and devices for implementing modern medical procedures. Further, they require strong competency-based skillsets, reliable training tools, readily available resources, and immediate accessibility to succeed. The foundational bridge between conceptual and technical learning usually occurs during a lecture (Flood & Robina, 2014), and sometimes through the use of an accompanying video (Jamil & Isiaq, 2019). Learning a procedural method ultimately requires more hands-on and applied experiential training. This experiential learning is what guides the user/learner beyond the passive watching/shadowing modeling learning process to create the emergence of new skillsets through a more active and applied learning experience. This process is identical to what surgeons do during all their training to reach levels of competency (Ruesseler et al., 2013). However, a setback to this approach is that it takes substantial time to acquire the basic knowledge up until being able to perform a procedure independently.

The main problem with modeling is the lack of access to the right point-of-view from the teacher’s perspective for the learner to acquire the proper vantage point to fully grasp the concepts and skillsets to be acquired. Fiorella et al. (2017) showed that learning in first-person point-of-view (FPV) can decrease the user’s/learner’s cognitive load and thus, helps to minimize any learning errors. Previous studies, have evaluated ways in which to obtain the proper advantage of the FPV in VR to optimize the user’s/learner’s cognitive

load; thus, freeing up precious cognitive reserves to be redistributed on the memorizing process, retention, and generalization of the skillsets being learned (van Merriënboer & Sweller, 2005, 2009).

Virtual Reality Literature Review

It is important to note there are different ways to generate a VR environment and each type of content should be used according to a specific training objective: Ros et al. (2020a, b, c) emphasizes that computer generated images should be used to best simulate the concept of the real-world and 360° video should be utilized for better understanding a learning context, whereas in contrast the 180° FPV video should be utilized for better understanding through a hands-on approach in order to best translate the user/learner experience. These expectations of the modern medical world may seem at times impractical, but there is technology that exists that encompasses this pedagogical framework through the use of an immersive virtual reality application (IVRA; for review, see Dargar et al., 2015; Wolfe & Cedillos, 2015). It is important to note here that IVRA circumvents the artificial instructional formats of other VR and PSVR pedagogical approaches (for review, see Willaert et al., 2012; Ros et al., 2017, 2020a, 2020b, 2020c). As such, IVRA was developed to address the challenges faced by current and future medical students and allied health professionals over the last several years as a means to reduce learning gaps, increase accuracy, efficiency, and reliability of medical procedures.

Kolb (1984) described the experiential learning cycle with four consecutive steps: 1) Concrete Experience, 2) Reflective Observation, 3) Abstract Conceptualization, and 4) Active Experimentation. Kolb (1984) stated that users/learners can enter anywhere in this experiential educational cycle; however, they must complete the cycle fully in order to acquire the desired new skillset. Where in this cycle can the IVRA-FPV further facilitate the user/learner in acquiring new skillsets? The following IVRA-FPV pedagogical principles are consistent with Kolb's (1984) cycle features. Remarkably, IVRA-FPV helps the user/learner to feel a concrete experience through the activation of mirror neurons (cycle 1). As a large amount of learning content can be created, variations of the IVRA-FPV experience can be depicted to provide different learning strategies in the moment of learning a single skillset (cycle 2). This could further enhance abstract conceptualization, novel problem solving strategies, and prevent rigid learning or cognitive inflexibility (*i.e.*, functional fixedness/perseveration of a single strategy)? Notably, this outcome might depend on the additional data, which are displayed on both sides of the main screen, to promote this abstract learning paradigm. For example, when it's a 3D reconstruction model, it helps the user/learner to understand the model's full architecture to envision new approaches to implement the skillset to resolve the problem at hand (cycle 3). Finally, one way to enhance the IVRA-FPV to increase the user/learner experience in reducing errors, is to experiment with the addition of a decision tree appearing between the scenes and guiding the user/learner to different propositions (cycle 4). Corroborating with this theory, it is postulated that the IVRA-FPV, can be used as a powerful pedagogical tool, that creates unique pathways/entry points by which the user/learner can enter any one of the four different steps of Kolb's (1984) cycle at any time and revisit the same moment in time as needed; thus, rather than shadowing the IVRA-FPV can actively albeit in a simulated environment teach the user/learner through a more memorable journey, that may aid episodic memory and complementing the traditional learning instruction of a given field. Further, Kolb's (1984)

cycles remain relevant in developing modern teaching technologies to help educators to better understand the implications and advantages in using IVRA to sequence the instructional activities using this pedagogical approach.

The Revinax® Handbook IVRA is a mobile application that is used to showcase any medical procedure as a tutorial to train the user on the theory, knowledge-base, and practical application of the procedure in a simulated observer setting using a FPV (Ros et al., 2017). The Revinax® Handbook tutorials are comprised of a main screen where a stereoscopic 180° movie of the medical procedure is projected, with additional knowledge-based content on each side. The Revinax® Handbook tutorials are created through three unique steps: First, the medical procedure is recorded from an actual expert conducting the technique in 3D from the expert's FPV. For example, this is done by having the expert wear the video recording equipment while performing the actual procedure. Second, the 3D movie is then parsed into smaller easily understandable learning modules that are organized into chapters that correspond to the different steps of the medical procedure (in addition to calibration and synchronization of the videos). Finally, clinical imaging, drawings, and narrations of the medical procedures are then incorporated into the tutorial to finalize its production.

Previously, Ros et al. (2017) described The Revinax® Handbook step-by-step method and showed that the concept was an interesting and unique approach directed towards addressing the learning gap that allied healthcare professionals faced and most were willing to adopt the technology to teach medical procedures to their users/learners. The results of this study showed that there was no learning differences due to age and that the users/learners self-reported that they felt they would have learned the medical procedure faster because they better understood the procedure from the IVRA. In another study by Ros et al. (2020a, b, c) involving $N=175$ students, it was reported that IVRA-FPV in addition to a technical note (*e.g.*, the step-by-step description of the technique) improved the user's/learner's understanding and skillsets. However, since the IVRA-FPV focuses more on the practical understanding of the physical behavioral movements that are to be learned in addition to the comprehension of the theory and knowledge-base for the medical procedure, the present study sought to evaluate the user's/learner's ability to comprehend and generalize the medical procedure using the IVRA-FPV as a pedagogical method. Additionally, other studies in the field have found the IVRA to be a modern tool to train medical users/learners and to assess their comprehension, motivation, and competency as a new pedagogical approach over traditional lectures in public and private medical colleges and universities (Sattar et al., 2019). These approaches have even been directed towards learning neuroanatomy (Ekstrand et al., 2018) and contrast with other traditional lecture perspectives that might employ historical narratives in lieu of technology accessibility when teaching a diverse group of users/learners at public universities (Neuwirth et al., 2018a, 2018b; 2019). Further, the pedagogical value of such an IVRA approach should also consider the change in the growing diversity of the college user/learner population compared to the typical demographics of 30 years ago (for review, see Mukherji et al., 2017). Thus, IVRA has shown to be an effective pedagogical tool to train medical and surgical users/learners, yet IVRA-FPV may prove to be more effective as a pedagogical tool to train medical and surgical users/learners, as well as other allied health professionals.

In order to assess the pedagogical value of IVRA-FPV, the present study used a lumbar puncture medical procedure that is a mandatory skill to be acquired by all medical users/learners. The lumbar puncture procedure is fairly simple compared to other medical procedures, but still requires a high-level of cognitive integration (*i.e.*, since it involves the simultaneous processing and associating relevant knowledge of the procedure with visual

perception, acquiring and retrieving procedural memory, praxis, and clinical decision making of risk/benefit analyses based on the patient needs). Further, a major concern faced by medical educators is the challenge to train every single user/learner to be proficient in this procedural behavior, which can be time consuming and the approach to teach each user/learner may vary, based upon their skillsets and knowledge-base at the time of training. Equally, medical users/learners being taught the procedure may exhibit a range of comprehension due to differences in prerequisite skills, knowledge-base, confidence, anxiety, being technology savvy, etc. Thus, teaching medical users/learners to acquire competency through even a simple medical procedure such as a lumbar puncture can be a daunting task for even the most well-versed medical educator. Moreover, since the lumbar puncture has very objective behavioral steps that can be clearly codified, it makes it easier to obtain a reliable evaluation of the medical user's/learner's generalized educational outcomes.

Method

Participants

Eighty-nine medical students from the Medical Simulation Center of the Montpellier Medical School (France) participated in the study. The participants were in their 4th year of medical school (*i.e.*, two years before residency). The participants were recruited to join the study during a lesson that focused on a lumbar puncture. The study was performed in the Medical Simulation Center of the Montpellier Medical School. The study was approved by the Institutional Review Board (IRB) of the College of Society. Every participant signed an agreement to volunteer for the study. Of the ($N=89$) participants, $n=37$ were males (41.57%) and $n=52$ were females (58.43%). The mean age across both genders was 23.4 years old ($SD=2.72$) with participants ranging from 19 to 36 years of age. The participants were randomly divided into two groups to establish a between groups research design that was not threatened by participant characteristic, selection bias, and/or participant attitude and motivation. Further, participants were not evaluated longitudinally therefore there were no threats of maturation, history, and regression to the mean, testing, or mortality. Lastly, the participants were tested in the same location and were randomly assigned to the instrumentation/materials to complete the lumbar puncture procedure. Participants that were assigned to the Lecture Group, learned the lumbar puncture with a medical educator that taught the procedure using a slideshow and showing them the needle (*i.e.*, the traditional lecture group). In contrast, participants that were assigned to the IVRA-FPV Group, learned the same educational content, but it was presented to them using IVRA-FPV (*i.e.*, the immersive experience group). Of the ($N=89$) participants, 44 participants were randomly assigned to Group A ($n=17$ males and $n=27$ females), whereas 45 participants were randomly assigned to Group B ($n=20$ males and $n=25$ females), respectively.

Lumbar Puncture Medical Procedure

The lumbar puncture medical procedure was presented to the participants and the procedure was described in a Microsoft PowerPoint slideshow (*i.e.*, hereon referred to as slideshow) along with a specifically designed tutorial through IVRA-FPV of an expert performing the lumbar puncture on a mannequin. The slideshow educational content was developed with consultation from a senior faculty member of the Neurology Department

of The University Hospital of Montpellier. The content that was covered in the slideshow included describing the ways in which the lumbar puncture is usually taught in different hospitals, indications and contra-indications, adverse effects of the procedure, pictures of the materials, and pictures of the different steps of the procedure.

Immersive Virtual Reality Application First-Person Point-of-View (IVRA-FPV)

For the immersive tutorial, first, the 3D movie was recorded applying the Revinax® Handbook method (*i.e.*, using a device worn by the surgeon to record their point-of-view [POV]). The movie was then edited and divided into seven chapters that were displayed through the Oculus VR Headset Model MH-A64 (Oculus VR, LLC Dublin, Ireland) as the HMD: 1) L4-L5 spotting with iliac crest; 2) donning sterile gloves; 3) preparing material for the procedure; 4) asepsy; 5) lumbar puncture; 6) cerebrospinal fluid (CSF) extraction; and 7) needle withdrawal and applying a dressing. Then, on the left side of the screen, another set of slides corresponded to the material and the theoretical knowledge-base of the procedure. Alternatively, on the right side of the screen, there was a 3D model of a lumbosacral spine, with an arrow showing the needle trajectory for the lumbar puncture (Fig. 1). For each of the chapters of the lumbar puncture procedure, an additional narration file was recorded and was then integrated as a voice-over with the 3D IVRA-FPV to explain the different behavioral steps of the procedure.

Figure 1 illustrates the participant's IVRA-FPV experience of the lumbar puncture. The participant's interface for the experience that was created for this study was displayed with a main screen and other content was displayed to the left and right of the main screen with different interactive abilities. Straight ahead and above, the main screen played a 3D video from the FPV (A). On the right side of the main screen, other pedagogical content (*e.g.*, a 3D model) was displayed (B). Participants could rotate the content to envision angles of approach and evaluating the medical procedure that would otherwise not be possible when implementing the actual procedure below (D). On the left side of the main screen,

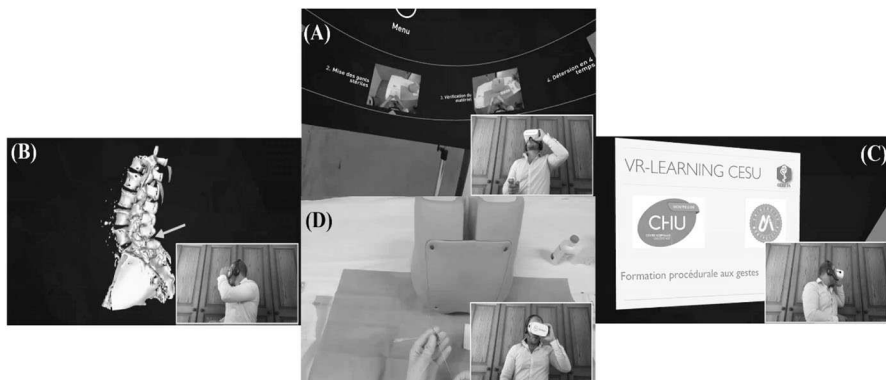


Fig. 1 The participant's IVRA-FPV experience through the main menu above (A), other pedagogical content on the right side of the main display (B), the pedagogical slideshow content on the left side of the main display (C), the expert's FPV of conducting the lumbar puncture procedure indicating the L4 L5 level of puncture below (D). The images are presented in the directional IVRA-FPV of the participant looking up (A), right (B), left (C), and down (D)

other content (e.g., a supplemental slideshow) was displayed and participants could switch/advance through different slides as needed (C).

Participant Lumbar Puncture Learning Outcomes Assessment

A learning outcomes assessment was developed by three faculty that are surgeons from within the Neurosurgical Department (i.e., two senior and one resident) of The University Hospital of City. The learning outcomes assessment was thoroughly reviewed by two other specialists (i.e., a specialist in medical simulation and the other in education sciences at The University of City) to ensure the quality controls of the assessment tool. This learning outcomes assessment was composed of two parts (See Appendix A & B), whereby the first part of the assessment consisted of an oral assessment regarding the theoretical knowledge-base for the lumbar puncture: material, asepsis, and puncture spot (i.e., comprising eight questions; max points 7.95). The second part of the learning outcomes was determined through a practical assessment that consisted of the applied generalization of the behavioral steps regarding the lumbar puncture: spotting, preparation with drapes, preparing the needle, lumbar puncture, extraction of CSF, and withdrawal of the needle (i.e., max points: 6.5). These behavioral steps required a higher level of integration by associating knowledge, visual perception, praxis, and decision-making abilities. For each of these learning outcomes assessments that were conducted by independent medical professionals at the University Hospital using an inter-rater-reliability score (i.e., 96%) and were within 5% margins of error and 95% confidence intervals (data not shown).

Lumbar Puncture Oral & Applied Generalized Test Procedures

Each participant joined a medical educator individually within a separate patient room. After an oral assessment of the participants' knowledge-base, the medical educator asked the participant to perform the lumbar puncture. The medical educator oversaw the participant and asked them, before each step, what they are expected to do and what their next step would be until the medical procedure was completed. In the applied generalized procedural skills assessment, the participant's time to complete the lumbar puncture (i.e., duration measured in seconds) was observed and recorded. A timer was started when the participant began the lumbar puncture beginning from the time when the needle penetrated the mannequin's skin to the extraction of CSF. One of two mannequins (i.e., Kyoto Kagaku® or Medicaem®) for the Lecture and IVRA-FPV Groups, respectively.

Statistical Analyses

The following demographics from the participants were analyzed using the following measures of central tendency: means (*M*), standard deviations (*SD*), medians (*Med*) and inter-quartile ranges (*IQRs*), as appropriate. To assess the normality of the participant sample distribution, the *Shapiro-Wilk's test* (*W*) was used and the *Levene's test* was used to assess the equality of variances. This was followed by employing the *Mann Whitney U test* with *Z test* was used to evaluate the differences between the two groups for all Oral and Procedural Assessment distributions across all questions and for each individual question, respectively. A *t-test* and a *Cohen's d* for the *Effect Size* was used to evaluate the *Latency* differences between the two groups for both the entire distribution and a subset of the data with a cut off

of 200 s. All statistical analyses were carried out using the using SPSS version 24 (IBM®—Armonk, New York, USA). The criteria for statistical significance was set at $\alpha = \leq 0.05$ with a confidence interval of 95% ($CI=95\%$). The data are presented as box plots with whiskers to illustrate the standard deviations (SD) as the inter-quartile ranges (*IQRs*), whereas the histograms for each box plot are also shown to illustrate the distributions with median shifts for easier visual comparisons between the two groups, respectively.

Results

The participants that were randomly assigned to the traditional Lecture Group or the IVRA-FPV Group were assessed via an oral assessment that surveyed their knowledge-base for comprehension of the lumbar puncture. The results for each group for each individual question are shown in Table 1, where participants that attended the traditional Lecture Group

Table 1 Statistical parameters for each of the oral assessment (Q1–Q8) and the practical assessment (Q9–Q14) for the IVRA-FPV and Lecture groups relative to the total population

Question Number	IVRA-FPVn=44 Mean (SD)	Lecture n=45 Mean (SD)	Total population N=89 Mean (SD)	Mann-Whitney U	Z-test	p Value (Sig. 2 Tailed)
1	M=0.89 (SD=0.15)	M=0.96 (SD=0.10)	M=0.92 (SD=0.13)	745.00	-2.43	p<.02*
2	M=0.23 (SD=0.25)	M=0.42 (SD=0.18)	M=0.33 (SD=0.24)	604.00	-3.84	p<.001***
3	M=0.37 (SD=0.49)	M=0.69 (SD=0.47)	M=0.53 (SD=0.50)	661.00	-2.96	p<.03*
4	M=0.36 (SD=0.23)	M=0.48 (SD=0.10)	M=0.42 (SD=0.18)	764.00	-2.94	p<.03*
5	M=0.32 (SD=0.19)	M=0.58 (SD=0.18)	M=0.45 (SD=0.23)	359.50	-5.44	p<.001***
6	M=0.46 (SD=0.11)	M=0.50 (SD=.00)	M=0.48 (SD=.08)	855.00	-2.55	p<.01**
7	M=0.49 (SD=.08)	M=0.50 (SD=.00)	M=0.49 (SD=.05)	967.50	-1.01	p=0.31 n/s
8	M=0.94 (SD=0.19)	M=0.86 (SD=0.23)	M=0.90 (SD=0.22)	800.50	-2.28	p<.02*
9	M=0.45 (SD=0.15)	M=0.42 (SD=0.15)	M=0.44 (SD=0.15)	375.50	-5.06	p<.001*
10	M=0.74 (SD=0.44)	M=0.78 (SD=0.42)	M=0.76 (SD=0.43)	946.50	-0.47	p=0.64 n/s
11	M=0.75 (SD=0.44)	M=0.49 (SD=0.51)	M=0.62 (SD=0.49)	945.00	-0.49	p=0.62 n/s
12	M=0.83 (SD=0.22)	M=0.81 (SD=0.21)	M=0.82 (SD=0.22)	731.50	-2.52	p<.01**
13	M=1.11 (SD=0.81)	M=1.59 (SD=0.76)	M=1.35 (SD=0.82)	928.00	-0.57	p=0.57 n/s
14	M=0.89 (SD=0.21)	M=0.56 (SD=0.41)	M=0.72 (SD=0.36)	682.50	-2.82	p<.01**

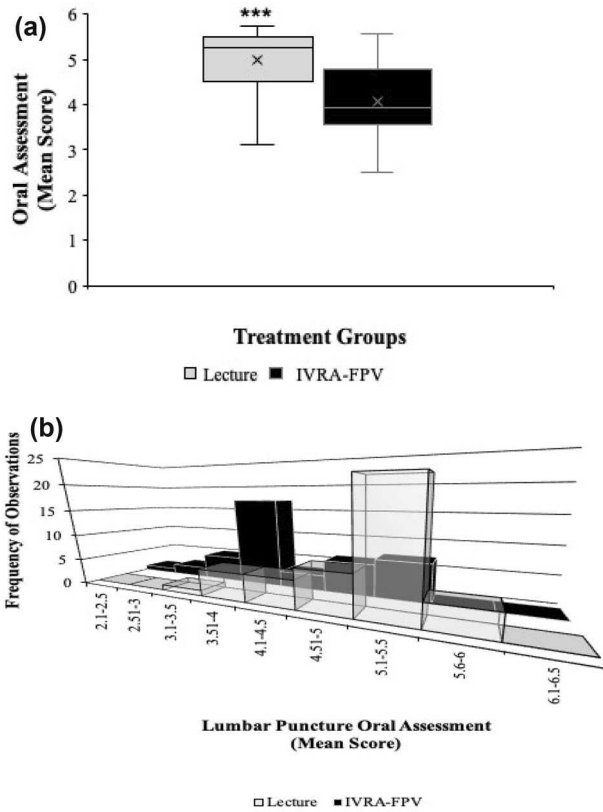


Fig. 2 **A** Shows the participants’ first part for the Oral Assessment (Q1–Q8) based on their group assignment. The data are represented as box and whisker plots illustrating the quartile range for each distribution. Participants in the Lecture group (gray) exhibited a significant improved performance over the IVRA-FPV group (black) for the Oral Assessment ($U[N_{\text{Lecture}}=45, N_{\text{IVRA-FPV}}=44]=375.50, z = -5.06, p < .001^{***}$). **B** Illustrates the frequency distribution of the Lecture (gray) and IVRA-FPV (black) group’s mean score on the Lumbar Puncture Oral Assessment (Q1–Q8). The Lecture group’s frequency distribution shows more of an approximation for a normal distribution between a score of 4.51–6.0, whereas the IVRA-FPV group approximated a normal distribution that was positively skewed

had a statistically significant improved performance during the oral assessment (*i.e.*, the sum of questions 1 to 8, $U[N_{\text{Lecture}}=45, N_{\text{IVRA-FPV}}=44]=375.50, z = -5.06, p < 0.001^{***}$; Fig. 2A), when compared to the IVRA-FPV Group. Moreover, Fig. 2A illustrates a box plot with the SD as the whiskers, and the median as the thick black line comparing the participants’ scores from the oral examination. Interestingly, 75% of the participants from the IVRA-FPV Group distribution scored lower on the oral assessment than the median and quartile 1 range of participants from the Lecture Group ($p < 0.001^{***}$; Fig. 2A). Additionally, Fig. 2 illustrates the histogram for participants from the Lecture Group and the IVRA-FPV Group sample distribution. In Fig. 2B the histograms are illustrated for each group with a visible median shift of the sum of questions 1 to 8 from the oral assessment of 5.25 for the Lecture Group and 3.93 for the IVRA-FPV Group (difference of 1.33). The data also revealed that the participants from the Lecture Group had a distribution that was

negatively skewed ($Mode=5.1-5.5$), whereas the participants from the IVRA-FPV Group approximated a distribution that was positively skewed ($Mode=3.51-4.0$) with an overall $W_{(87)}=0.927$, $p<0.001^{***}$, skewness -0.441 , and kurtosis -0.969 (Fig. 2B). Further, in Fig. 2B the participants from the Lecture Group's oral assessment scores ($Med=3.93$, $M=4.06$, $SEM\pm 0.12$), whereas the participants from the IVRA-FPV Group's oral assessment scores ($Med=5.25$, $M=4.97$, $SEM\pm 0.10$; $p<0.001^{***}$).

Interestingly, when the participants were assessed for their ability to apply their knowledge-base by generalizing the skillset of a lumbar puncture onto a mannequin, their accuracy in executing the behavioral procedures (*i.e.*, sum of questions 9 to 14) did not show any statistically significant differences between the two groups, but a trend was apparent ($U[N_{Lecture}=45$, $N_{IVRA-FPV}=44]=954.50$, $z=-0.27$, $p=0.78$ n/s). Moreover, Fig. 3A illustrates a box plot with the SD as the whiskers, and the median as the thick black line comparing the participants' scores from the behavioral steps for completing the lumbar puncture applied skill generalized onto a mannequin. Interestingly, the behavioral steps used to complete the applied lumbar puncture on the mannequin were identical between the Lecture Group and the IVRA-FPV Group ($p=0.55$ n/s; Fig. 3A). Additionally, Fig. 3B illustrates the histogram for participants from the Lecture Group and the IVRA-FPV Group sample distribution. In Fig. 3B the histograms are illustrated for each group with a visible median shift of the sum of questions 9 to 14 from the oral assessment of 4.66 for the Lecture Group and 4.83 for the IVRA-FPV Group (difference of 0.17). The data showed that the participants from the Lecture Group had a distribution that was negatively skewed ($Mode=5.1-5.5$), whereas the participants from the IVRA-FPV Group approximated a polymodal distribution that was negatively skewed ($Modes=4.1-4.5$, $5.1-5.5$, & $6.1-6.5$) with an overall $W_{(87)}=0.939$, $p<0.001^{***}$, skewness -0.517 , and kurtosis -0.580 (Fig. 3B). Further, in Fig. 3B the participants from the Lecture Group's behavioral steps applied procedure scores ($Med=4.83$, $M=4.77$, $SEM\pm 0.20$), whereas the participants from the IVRA-FPV Group's behavioral steps applied procedure scores ($Med=4.66$, $M=4.60$, $SEM\pm 0.22$; $p=0.55$ n/s).

Notably, when comparing the behavioral steps to complete the lumbar puncture accurately, participants from the IVRA-FPV Group (*i.e.*, the immersive experience) executed the lumbar puncture in a significantly faster completion time than participants from the Lecture Group (*i.e.*, $t_{[59,49]}=2.72$, $p<0.01^{**}$, *Effect size of Cohen's d*=1.22; Fig. 4A across the entire distribution, and when using a cut-off criteria of 200 s ($t_{(54)}=-3.34$, $p<0.01^{**}$, *Effect size of Cohen's d* = -1.80) with an overall $W_{(87)}=0.904$, $p<0.001^{***}$, skewness 1.107, and kurtosis -0.949 ; Table 2). Moreover, Fig. 4A illustrates a box plot with the SD as the whiskers, and the median as the thick black line comparing the participants' latency to complete the lumbar puncture task accurately.

Additionally, Fig. 4B illustrates the histogram for participants from the Lecture Group and the IVRA-FPV Group sample distribution. In Fig. 4B the histograms are illustrated for each group with a visible median shift of the latency to complete the lumbar puncture of 240 s for the Lecture Group and 140 s for the IVRA-FPV Group (difference of 100 s). The data show that the participants from the Lecture Group had a polymodal and platykurtic distribution ($Modes=0-100$ s, $201-300$ s, & $351-400$ s, respectively), whereas the participants from the IVRA-FPV Group approximated a more normal distribution that was positively skewed ($Mode=100-200$ s (Fig. 4B). Further, in Fig. 4B the participants from the Lecture Group completed the lumbar puncture task ($Med=140$ s, $M=153.26$ s, $SEM\pm 11.19$), whereas the participants from the IVRA-FPV Group completed the lumbar puncture task ($Med=240$ s, $M=227.80$ s, $SEM\pm 34.34$; $p<0.01^{**}$). Overall, the

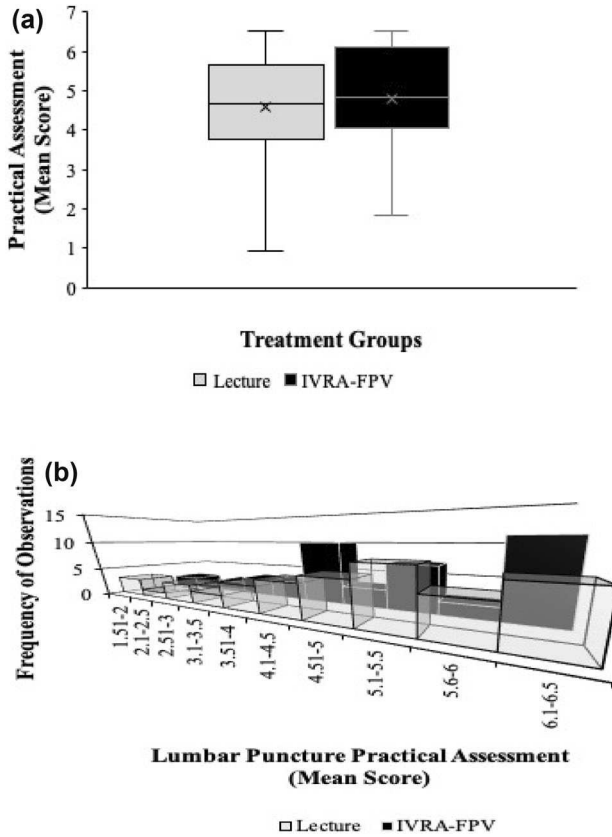


Fig. 3 **A** Shows the participant’s second part for the Practical Assessment (Q9-Q14) based on their group assignment. The data are represented as box and whisker plots illustrating the quartile range for each distribution. Participants in both the Lecture (gray) and the IVRA-FPV (black) group exhibited no difference for the Practical Assessment ($U[N_{Lecture}=45, N_{IVRA-FPV}=44]=954.50, z=-0.27, p=0.78$ n/s). **B** Illustrates the frequency distribution of the Lecture (gray) and IVRA-FPV (black) group’s mean score on the Lumbar Puncture Practical Assessment (Q9-Q14). Notably, both the Lecture and IVRA-FPV group’s frequency distribution appear to be similar

Table 2 Statistical parameters for the lumbar puncture procedure task completion time

(i.e., Latency with a cut off at 200 s) Group	N-size	Mean (SD)	Median (Q25; Q75)	t-test (df)	p-value (Sig. 2 Tailed)	Effect size Cohen’s d
IVRA-FPV	43	153.26 (73.38)	140.00 (110.00; 180.00)	-3.34 (54)	$p < .01^{**}$	-1.80
Lecture	44	227.80 (165.93)	240.00 (85.00; 360.00)	-	-	-
Total population	87	190.95 (133.42)	160.00 (90.00; 260.00)	-	-	-

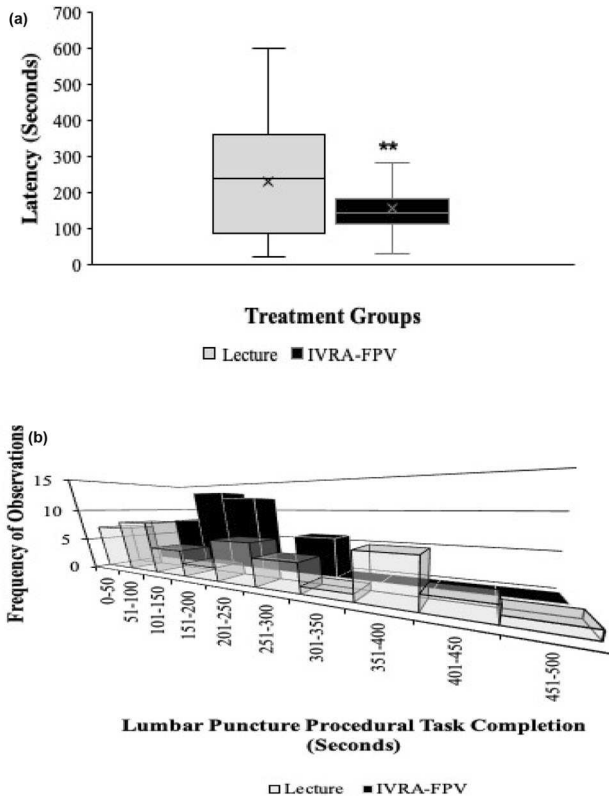


Fig. 4 **A** Shows the participant’s time to complete the lumbar puncture based on their group assignment. The data are represented as box and whisker plots illustrating the quartile range for each distribution. The data revealed a significant overall difference between the Lecture group (gray) and the IVRA-FPV (black) with the IVRA-FPV group exhibiting more efficient practical skills ($t_{(59.49)} = 2.72, p < .01^{**}$, *Effect size of Cohen’s $d = 1.22$*). **B** Illustrates the frequency distribution of the Lecture group (gray) and IVRA-FPV (black) group’s duration in completing the Lumbar Puncture Procedural Task. The IVRA-FPV group’s frequency distribution shows more of an approximation for a normal distribution between 151–250 s, whereas the Lecture group exhibits more of a polymodal distribution

IVRA-FPV Group showed a 60% reduction in the latency to complete the lumbar puncture when compared to the Lecture Group on the practical assessment.

In examining the number of errors observed from each group, the data revealed that for the oral assessment 40% of the participants from the Lecture Group ($n = 24$) made errors in comparison to 77% of participants from the IVRA-FPV Group ($n = 70$). Thus, nearly three times as many participants in the IVRA-FPV Group made more errors in the oral assessment with a 34% increase in errors, when compared to the Lecture Group. Interestingly, the opposite phenomena was observed in the practical assessment, whereby 73% of the participants from the Lecture Group ($n = 55$) made errors compared to 50% of the participants from the IVRA-FPV Group ($n = 36$). (Fig.5 A-C). Thus, nearly two times as many participants in the Lecture Group made more errors in the practical assessment with a 23% increase in errors, when compared to the IVRA-FPV Group. Therefore, the pedagogical influence of IVRA-FPV on the participant’s number of errors observed in the present study showed that it negatively influenced their learning during the oral assessment,

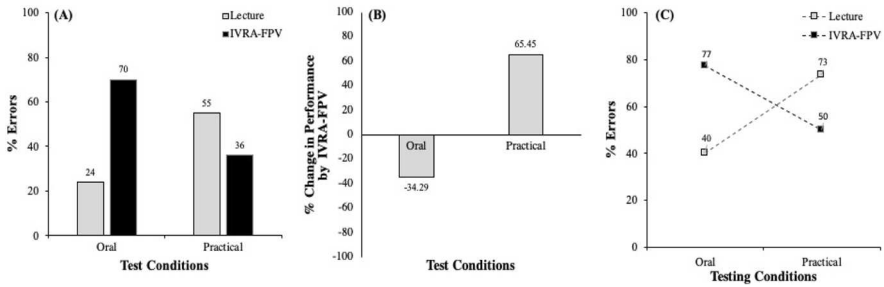


Fig. 5 Illustrates the difference in participant errors between the Lecture (gray) and the IVRA-FPV (black) groups for both the Oral and Practical Assessments (A–C). In (A), the IVRA-FPV group had 46% more participants that made errors in the Oral Assessment, but showed that 19% of participants exhibited a reduction in errors for the Practical Assessment. In (B), the overall change in participant’s performance outcomes show that IVRA-FPV reduced the Oral Assessment outcomes by 34.29%, whereas in contrast it increased the Practical Assessment outcomes by 65.45%. In (C) an interaction was observed between the Lecture and IVRA-FPV groups across the Oral and Practical Assessment test conditions. These findings suggest that both the Lecture and the IVRA-FPV, when used in combination, may increase the pedagogical value of the curriculum for the user/learner

but positively influenced their learning during the practical assessment. As such, the participants from the IVRA-FPV Group exhibited 34.29% more errors when answering lecture questions. However, in the practical assessment, the IVRA-FPV Group exhibited an improvement of a 65% reduction in errors when performing the actual physical medical procedure.

Historically, the first VR systems that were non-immersive (*i.e.*, excluded a headset) were used in the medical field since the 1990s (for review, see Schroeder, 1993). Moreover, the first VR applications were used as educational tools that were designed to help users understand autistic behaviors (Max & Burke, 1997). In training situations and/or simulations, VR was first used by aviation pilots and many more educational sectors (for review, see Gigante, 1993; Vince, 1993; Mazuryk & Gervautz, 1996; Dixon, 2006). Now, there are various fields that use VR applications, and the number of articles that use VR that are published on the website of the U.S. National Library of Medicine (www.pubmed.gov) is growing exponentially. Thus, the flexibility, value, and pedagogical utility of VR has been realized and creative approaches to further integrate IVRA-FPV into pedagogical practice has shown to have increased value (Ros et al., 2017, 2020a, b; Ros & Neuwirth, 2020; Ros & Trives, 2020).

Ros et al. (2020a, b, c) reported that using IVRA-FPV improved medical students’ retention of their practical knowledge. Consistent with that report, the present study also demonstrated that using IVRA-FPV tutorials for learning a medical procedure can accelerate the learning process, reduce the latency to learn the medical procedure, and decrease time in generalizing the medical procedure into simulated real-world situations. It is also important to note that there was an emerging trend for statistical significance in the IVRA-FPV group performing the behavioral skills of the lumbar puncture better than the traditional Lecture Group. When assessing the oral assessment and comprehension of the course content, the participants that went through the Lecture Group performed better than the IVRA-FPV Group. However, when the participants were assessed for their ability to apply and generalize the behavioral steps of the lumbar puncture onto a mannequin, there were no differences observed between the traditional Lecture Group and IVRA-FPV

Group. Interestingly, the present study observed that through IVRA-FPV the latency to complete the lumbar puncture medical procedure reduced the variability in the participant sample distribution, increasing the measures of central tendency, and shifting the population leftward making it more normative when compared to the traditional lecture group. The value of the IVRA-FPV will be discussed in further detail below.

Oral Assessment Outcomes

The slideshow that was used by the medical instructor was integrated with the Revinax® Handbook IVRA-FPV environment (*i.e.*, presented on the left side of the main screen) without the slides corresponding to the technical aspect itself. The recorded voice-over guided the participants at first to read through the slideshow, but without any additional commentary beyond these instructions. Fowler (2015) insisted on the need for presence (*i.e.*, the user feels they are within the artificial environment) and for a co-presence (*i.e.*, the user/learner feels the presence of another person inside the same environment) to be created/achieved within the VR environment (*i.e.*, to make the artificial situation seem more real to the user/learner) to further enhance the user's/learner's belief of the authenticity of the IVRA-FPV experience, that in turn, would then enhance the pedagogical value of the medical procedure that was learned. It is important to note, that reading and reviewing just the slideshow alone, misses this critical immersive and episodic aspect of the medical practicum training and the transference of experiential anecdotal knowledge that often supplements such materials in lectures.

Moreover, adding the voice-over commentary, specifically for the slideshow, may have facilitated memorizing the medical procedure as knowledge-based content. Reports have shown, that perhaps, the memorization process could have been further improved if there were an additional representation of the medical instructor with another video embedded within the slideshow, as it has been shown to decrease the cognitive load and increase the retention of knowledge as an inverse pedagogical relationship (Chen & Wu, 2015). In some VR studies, rather than just having a video embedded picture in their slideshows, the VR design took full advantage of displaying the instructor but represented them as an avatar rather than a real person (Ai et al., 2002; Kurrilo et al., 2011). In the present study, the approach although brief and consistent with most user's/learner's attention span (*i.e.*, under 20 min), was designed with the capability of having quick notes available within the IVRA-FPV environment and proved unique and valuable for the participants, when compared to the traditional lecture. In review of the literature, the role of the instructor may be more important in facilitating the lecture than the lecture materials alone (Berge, 1995; Coppola et al., 2014; Fiorella et al., 2019; Mandernach et al., 2009), which was consistent with the instructor superseding slideshows and accompanying commentary in the present study. However, it is important to note that depending on the instructor, the direct instructor-user/learner interaction is of the highest value and the IVRA-FPV is a unique pedagogical tool that best approximates circumventing this issue while in a IVRA-FPV environment rather than a traditional lecture.

This IVRA-FPV tutorial is intentionally designed to create a unique experience that consists of using a combination of different pedagogical features, which have independently, evidenced their efficiency in improving the user's/learner's educational outcomes. The use of the IVRA-FPV itself, enables the user/learner to live an experience close to what can be expected in reality rather than just watching a scene. The 3D experience adds depth, lending the experience to enhance the realism of the scene. The results from the

current study are consistent with Fowler (2015), in that immersion allows the user/learner to feel a sense of presence and co-presence, which are the best criteria for establishing a successful 3D VR learning environment. The FPV has been shown to improve the learning of new behaviors as acquired skillsets or gestures (Fiorella et al., 2017). Mirror neurons are usually activated when the user/learner sees someone else performing a procedure (Rizzolatti & Craighero, 2004). For example, if a medical procedure, such as the lumbar puncture in the present study, were to be viewed from a FPV, the user's/learner's cognitive load becomes less of a requirement during the educational process (Van Gog et al., 2008). Thus, as a result of the FPV freeing up the user's/learners' cognitive load, in turn, they are more able to direct a larger amount of their cognitive resources to focus their increased attentional capacity to understanding and reliably replicating the procedure. Finally, the possibility for the user/learner to directly interact with the subject matter corresponding to the additional data (*i.e.*, through the IVRA-FPV) permits them to experience a unique sense of the pedagogical data that was inspired by e-learning methodology (*i.e.*, having everything available to them to further enable understanding; Ruiz et al., 2006). Taken together, the potential for video-based learning through IVRA-FPV has shown a rather important finding from the present study and that of others in its pedagogical value by decreasing incorrectly learned concepts and generalizing them into real-world situations where such mistakes could directly affect patient outcomes in healthcare.

Practical Assessment Outcomes

The present study found that the behavioral step-by-step practical assessment revealed no statistical difference between the traditional Lecture Group and the IVRA-FPV Group. Smith et al. (2018) compared the pedagogical value of using different, yet complementary tools (*i.e.*, computerized-images in the IVRA, displayed in 2D on a flat-screen, or written notes), in addition to watching a video, to learn a medical procedure (*i.e.*, teaching the skillset of decontamination). They initially assessed the acquired behavioral skillset that was then subsequently assessed as a generalized performance of the medical procedure on a mannequin, whereby the latency to complete the task and the accuracy of the task completion were the measured learning outcomes consistent with the present study. Interestingly, they failed to identify any statistical differences in the learning outcomes measured earlier in the semester in one group and mid-semester in another group, when compared to the IVRA Group. Surprisingly, at mid-semester, the Lecture Group met the learning outcomes significantly faster (*i.e.*, consistent with the present study's findings), but without any statistical differences between the groups at the conclusion of the study (Smith et al., 2018). Although the Smith et al. (2018) study was well designed, it is unclear and rather peculiar why they chose to compare these groups with a video training group as an add-on experiment as it may be suspect for an experimenter bias. In a previous study (Ros et al. 2020a, b, c), the IVRA-FPV pedagogical approach was designed only with written notes as the starting point: the design sought to investigate the pedagogical value of the written notes that were compared to a group with written notes and VR. It is important to mention the present study's limitation as it only evaluated a Lecture Group compared to a IVRA-FPV Group absent of written notes. As the field is evolving in many ways to use VR, and more precisely IVRA-FPV, pedagogically one must be cautious and use systematic assessment of all pedagogical tools in order to best understand the impact and value for the user/learner. Finally, the next version of the design would then seek to evaluate the pedagogical value of video compared to IVRA-FPV and VR. Nevertheless, the pedagogical value of

the IVRA-FPV Group suggests the same level of user/learner outcomes were achieved as in the traditional Lecture Group, but with acquiring the behavioral skills in a shorter time-period and with greater precision.

Assessment of the Learning Errors Between Traditional Lecture & IVRA-FPV

Regarding the number of errors made by the participants from both groups, it was interesting to observe the relationship of these pedagogical influences on the oral and practical assessments. The intention of the use of IVRA-FPV, in the context of this study, is not to replace the traditional lecture with IVRA-FPV, but rather to supplement it by providing and optimizing a different learning dimension for the acquisition of new skills. Here, the learning discrepancy from the Lecture Group regarding the practical assessment could be resolved by using the IVRA-FPV as a supplemental pedagogical intervention after the instructor has explained the theory in the lecture. The data revealed that there were no differences between the Lecture and IVRA-FPV Group's learning which intervertebral level does the iliac crest usually project (*i.e.*, question 7 in the oral assessment). This observation may corresponded with the beginning of the video, and perhaps early in the task the users/learners may not have fully focused their attention at the beginning of the IVRA-FPV experience as it was their first-time having access to this kind of 180° learning perspective.

Furthermore, this situation could be resolved in subsequent studies with pre-testing modules that correspond to user/learner experience-dependent adjustment/calibration (*i.e.*, acclimatization/habituation). Some participants reported anecdotally after they completed the training that they would have liked the IVRA-FPV experience to have lasted longer and providing more time to explain the material in the IVRA-FPV. Indeed, when the recorded tutorial was designed, the real-time experience being played at equal speed was the main goal, but it dawned upon us later, that perhaps some approaches where there are many practical behavioral steps could have been displayed slower than the real-time sampling rate (*i.e.*, like the iliac crest). Even if the participants had the possibility to skip forward or review chapters, once the experience was finished, they usually took off the headset directly. Thus, the asepsis section regarding the sterile drape positioning remains the learning content problem area for both groups (*i.e.*, question 10).

Notably, there was no difference in performance between the Lecture and IVRA-FPV Group on question 10 "*sterile drape positioning*," and question 11 "*taking the needle*," which are skills that require a spatial awareness learning approach. For the removal of the needle, there were no errors observed for the IVRA-FPV Group, whereas for this pedagogical intervention through IVRA-FPV it can be considered that the participant exhibited competency in the practical procedure. Astonishingly, the current study found that the IVRA-FPV Group required more attempts to properly extract CSF, which is counter intuitive to all other results from the current study. Interestingly, even though they made more attempts, they completed the procedure much faster (*i.e.*, 60% reduction in latency). This may be potentially due to repeated uses of the same mannequin and given constraints of the cost for more mannequins and classroom time, each group was provided only one of two mannequins. This presented a practical limitation of the study and suggests future studies should evaluate the differences between commercial mannequins to teach such practical skills. However, one must keep in mind that even if a study were to control for the few commercially available mannequins to teach a lumbar puncture procedure that such generalization may not apply one-to-one as the variability with patients are far greater than what the mannequins could ever offer. Thus, in this pedagogical context we are assessing

the value, albeit potentially constrained, to teach a medical procedure to be done more efficiently with less errors as the main generalizable skill/learning outcome measure. Since every step is important to complete in the practical procedure (*i.e.*, targeting, inserting the needle and removing it) it is critical for the lumbar puncture to be done quickly and without error to prevent prolonged and/or repeated pain that the patient would otherwise experience. Thus, the value of the IVRA-FPV intervention for the practical assessment allows for decreasing the overall practical errors, reducing the duration of the procedure, and as a positive pedagogical generalizable outcome, making the procedure efficient and more accurate through the practical assessment.

Time to Complete the Lumbar Puncture Procedure

This results from the present study corroborates with the results from Dardick et al. (2019), which showed that training through an IVRA simulation improves the learning of a medical procedure by reducing the latency to correctly perform the behavioral skillset necessary to demonstrating competency in the procedures. However, the main difference in the Dardick et al. (2019) report from the present study, was that the present study used “*Realistic IVRA simulators*” that combined the physical benchmark that approximated real-world generalizability that has greater pedagogical value. To the best of our knowledge, the present study is the first to fully experimentally assess in an IVRA-FPV using realistic simulators on the latency and accuracy to complete a learned behavioral medical procedure. In a recent literature review by Sheik-Ali et al. (2019) they mentioned the importance in the latency to accurately acquire surgical skills and generalizing them to complete a medical procedure. They concluded that the majority of the studies they examined that the pedagogical value of VR showed a positive linear relationship between the use of VR/AR in surgical training and behavioral skillset acquisition, but it is important to note that this relationship held regardless of the different tools used to analyze the learning outcome measures. More work is needed in this area and the interpretation should be cautioned since, in the Sheik-Ali et al. (2019) review, there was only one study that employed an IVRA tool, whereas all other studies employed VR tools that were either non-immersive (*i.e.*, displayed on flat-screen), which would not be a point-to-point comparison of the IVRA-FPV used in the present study.

Potential Pedagogical Value in The Extension of the IVRA-FPV Model

As soon as there is a need for experiential training, there could be a place for the IVRA-FPV pedagogical approach for the learner. As such, VR can be used in other areas like industrial maintenance (Chao et al., 2017) where it was compared to technical notes along with videos which were already used. The idea to combine VR and video can help to fill in the technical gaps that are observed in users/learners across generations (Ros et al., 2017). Modern users/learners are sometimes familiar with the VR environment, whereas older users/learners may be at an increased disadvantage initially (*i.e.*, orienting to and using computer generated images) when using a game-like simulation while learning. When the price of creating VR content can be prohibited or reduced to an economical value that makes the most sense for the educator and the user/learner, then the IVRA-FPV method can be used to create and easily share content to meet the range of user/learner needs and be built up to scale (Ros et al., 2020a, b, c).

Conclusion

Utilizing the pedagogical framework of Kolb's (1984) cycles to sequence the instructional activities using IVRA-FPV, the present study attempted to combine the use of VR (*i.e.*, to motivate and increase the users' involvement by providing an immersive experience), with a FPV (*i.e.*, to change the typical learning procedure to mimic that of the experts point-of-view), and with interactive data for creating the IVRA-FPV pedagogical tool for training medical users/learners on a lumbar puncture procedure. The results showed a significant increase in oral assessment comprehension of the knowledge-based content in the traditional Lecture Group over the IVRA-FPV Group, whereas in contrast there were no differences observed between the traditional Lecture Group and IVRA-FPV Group on the acquisition of the practical assessment through behavioral skills to complete the lumbar puncture. Notably, and arguably the most important observation, was the significant difference in the latency to precisely and accurately complete the generalized skillset of the lumbar puncture on the mannequin more efficiently in the IVRA-FPV Group when compared to the traditional Lecture Group.

The data showed that IVRA-FPV does not cause any detriment to the medical user's/learner's overall comprehension and acquired skillsets (*i.e.*, this would have been the case if the oral assessment comprehension, the practical assessment of the behavioral skills acquisition, and the generalized skillset assessment tests all showed deficiencies in the learning outcomes measured in this study). However, the value in the IVRA-FPV results in increasing the user's/learner's precision and decreasing their latency to complete the generalized skill from the medical curriculum when compared to the traditional lecture offers new pedagogical value to the IVRA-FPV experience. Ros et al. (2017, 2020a, b) and Ros et al. (2020a, b, c) reported that the IVRA-FPV offers an additional pedagogical value in that it can be used to train a wider audience (*i.e.*, well beyond the constraints of any traditional lecture, laboratory, or hospital rotation) through the curricular instruction of one instructor. Further, having one instructor teaching the curriculum through IVRA-FPV can increase the reliability across procedures that have many different steps. Moreover, this IVRA-FPV pedagogical approach can be cost effective in a variety of ways and can help to accelerate the user's/learner's comprehension of and skilled completion of the medical procedure as there is less variability in their learning outcomes.

These emerging studies and the corroboration in the findings between them on IVRA-FPV have begun to illustrate to the field and next generation users/learners of the pedagogical value of its utility in the allied medical fields, whilst also carefully considering the level of emotional engagement that can be provided/achieved through thoughtful and responsible curricular design in VR simulating the actions already experienced by others (Fowler, 2015; Dyer, 2018). It would be interesting to compare all the different types of training simulation that have been reported in the field within IVRA-FPV to best address the issue of the optimal combinations of pedagogical methodology to put forth for future best-practices. However, this would be beyond the scope of the present study and given the rate of rapid growth in the field, there is a very real concern that by the time such a study is completed, its findings may become less optimal in comparison to the evolving technological advancements of the future. Nevertheless, there remains a gap to be addressed at some point in the near future on this issue, as well as, the pedagogical value in using any kind of VR (*e.g.*, gaming, video, etc.) or non-VR simulators and our understanding of their intrinsic value to adapt the learners' journey in these environments remain to be elucidated.

The main goal is to answer the following questions: Which type of VR is the most optimal for pedagogical theory? Which one leads to a better comprehension for the user/learner? Which type of VR can best improve the user's/learner's technical skills? Which type of VR can teach the user/learner to effectively and ethically provide and understand the empathy of others? Recommendations and best-practice guidelines are lacking in the VR field and ultimately will have to be carefully evaluated and written to address these inevitable queries that emerge as the byproducts of both basic and applied research. If it eventually appears that one or two types of VR simulations lead to the same results, then at the very least, an economic approach between these two pedagogical options should be evaluated and detailed to provide educators as well as users/learners with the relevant information to make an informed decision to weigh the cost:benefit ratio between affordability and educational value.

Here, the present study assessed the IVRA-FPV for the participant's oral assessment comprehension and a practical assessment of behavioral skillset learning of a step-by-step medical procedure for a lumbar puncture. The findings revealed that IVRA-FPV Group resulted in a slightly reduced oral assessment comprehension of the lumbar puncture medical procedure with practical assessment of the behavioral skillset acquisition identical to that of the traditional Lecture Group. Again, a trend was observed here that would have been statistically significant if there were a larger sample population. Further, at the expense of a reduced oral assessment comprehension of the material, the IVRA-FPV group was more efficient as they performed the procedure physically on the mannequin as a generalized skillset with increased precision and reduced latency for the practical assessment. The value of this IVRA-FPV reduced latency for users/learners in training begs the question as to whether or not other procedures would show the same outcomes. Here, the projected value in this IVRA-FPV would reduce patient injury and malpractice insurance costs, while increasing patient quality of care outcomes and the ability to reliably conduct the procedure on more patients in a shorter time-period. One can imagine the same results generalizing in other areas of medicine by saving time, decreasing the number of errors, and furthermore reducing costs. Certainly, more research is required in this area to fully understand the translational scope, applications, and values of IVRA-FPV pedagogy within the medical and allied healthcare fields and the present study's findings suggest that this value appears to be quite promising and warrants further investigation.

APPENDIX A

Oral Assessment

: What equipment do you need, apart from the needle, to perform a Lumbar Puncture?

: Sterile drapes, Sterile pads, Sterile gloves, Disinfection solutions, Antiseptics, Tubes

(0.2 point per good answer, max = 1.2 points).

How many steps does asepsis take?

: 5 steps

(0.5 point, max = 2.5 points).

: In what order do you perform asepsis?

: soap, water, drying, antiseptic, 2nd antiseptic

(1 point, 0 if one mistake, max = 1 point).

: How many components does the puncture system consist of?

: three

(0.5 point, max = 0.5 point).

: Name them

: Short introducer, trocart, mandrel

(0.25 point per answer, max = 0.75 point).

: List the positions in which the patient must be placed to perform a PL

: Sitting, Lateral Decubitus (Genu pectoral)

(0.25 point per answer, max = 0.5 point).

: In relation to which intervertebral level does the iliac crest usually project?

: L4-L5

(0.5 point, max = 0.5 point).

: List 2 levels most frequently used to perform a puncture

: L3-L4/L4-L5 / L5-S1

(0.5 point per answer, max = 1 point).

Total Max = 7.95 points.

APPENDIX B

Practical Assessment:

: Location

Crest and interspinous space palpation.

(0.25 point per action, max = 0.5 point).

: Sterile drape positioning, aspesia maintained

Error or not.

(0 or 1 point, max = 1 point).

: Taking the needle, aspesia maintained

Error or not.

(0 or 1 point, max = 1 point).

: Puncture, error when the needle is in hand

Refit the needle, change hands, touch other place than puncture point.

(withdrawal of 0.33 per wrong action, max = 1 point).

: CSF

attempt / 2 attempt / more than 2 attempts

(2 points / 1 point / 0, max = 2 points).

: withdrawal of the needle:

In one go or not.

(0 or 0.5 point).

pad application at the puncture point or not.

(0 or 0.5 point).

max = 1 point.

Total max = 6.5 points.

: Time of completion

Response time measured in seconds.

Funding The authors declare no funding resources.

Declarations

Disclosure Dr. Maxime ROS is a Neurosurgeon. He was practicing at the Montpellier University Hospital before founding Revinax®, the company that developed the tutorial using IVRA-FPV methodology.

Research Involving Human Participants and/or Animals The study was approved by the institutional review board of the College de Neurochirurgie (comité d'éthique de la recherche en Neurochirurgie—IRB 00011687).

Informed Consent Each participant signed an informed consent to volunteer for the study.

References

- Ai, Z., Dech, F., Silverstein, J., & Rasmussen, M. (2002). Tele-immersive medical educational environment. In J. D. Westwood, H. M. Hoffman, R. A. Robb, & D. Stredney (Eds.), *Medicine Meets Virtual Reality 02/10 Digital Upgrades: Applying Moore's Law to Health* (pp. 24–30). IOS Press Ohmsha.
- Andersen, S. A. W., Foghsgaard, S., Cayé-Thomasen, P., & Sørensen, M. S. (2018). The effect of a distributed virtual reality simulation training program on dissection mastoidectomy performance. *Otol Neurotol off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc Eur Acad Otol Neurotol.*, 39(10), 1277–1284. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002031>
- Berge, Z. L. (1995). Facilitating computer conferencing: Recommendations from the field. *Educational Technology*, 35(1), 22–20.
- Caban, J. J., Joshi, A., & Nagy, P. (2007). Rapid development of medical imaging tools with open-source libraries. *Journal of Digital Imaging*, 20, 83–93. <https://doi.org/10.1007/s10278-007-9062-3>

- Chao, C. J., Wu, S. Y., Yau, Y. J., Feng, W. Y., & Tseng, F. Y. (2017). Effects of three-dimensional virtual reality and traditional training methods on mental workload and training performance. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 27(4), 187–196. <https://doi.org/10.1002/hfm.20702>
- Chen, C. M., & Wu, C. H. (2015). Effects of different video lecture types on sustained attention, emotion, cognitive load, and learning performance. *Computers & Education*, 80, 108–121. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.08.015>
- Coppola, N. W., Hiltz, S. R., & Rotter, N. G. (2014). Becoming a virtual professor: Pedagogical roles and asynchronous learning networks. *Journal of Management Information Systems*, 18(4), 169–189. <https://doi.org/10.1080/07421222.2002>
- Dang, B. K., Palicte, J. S., Valdez, A., & O'Leary-Kelley, C. (2018). Assessing simulation, virtual reality, and television modalities in clinical training. *Clinical Simulation in Nursing*, 19, 30–37.
- Dardick, J., Allen, S., Scoco, A., Zampolin, R.L., Altschul, D.J. (2019). Virtual reality simulation of neuroendovascular intervention improves procedure speed in a cohort of trainees. *Surg Neurol Int.*, 10(184): 1–4. https://doi.org/10.25259/SNI_313_2019
- Dargar, S., Kennedy, R., Lai, W., Arikatalo, V., & De, S. (2015). Towards immersive virtual reality (iVR): A route to surgical expertise. *Journal of Computational Surgery*, 2(2), 1–26. <https://doi.org/10.1186/s40244-015-0015-8>
- Davis, E. (2010). Technology transforming healthcare: Tipping points, strange actors, and a singularity. In S.M. Kabene (Ed). *Healthcare and the effect of technology: Developments, challenges, and advancements*. pp. 290–306. IGI Global: Hershey, PA.
- Dixon, S. (2006). A history of virtual reality performance. *International Journal of Performance Arts and Digital Media*, 2(1): 23–54. <https://doi.org/10.1386/padm.2.1.23/1>
- Dyer, E., Swartzlander, B. J., & Gugliucci, M. R. (2018). Using virtual reality in medical education to teach empathy. *J Med Libr Assoc JMLA.*, 106(4), 498–500. <https://doi.org/10.5195/jmla.2018.518>
- Ekstrand, C., Jamal, A., Nguyen, R., Kudryk, A., Mann, J., & Mendez, I. (2018). Immersive and interactive virtual reality to improve learning and retention of neuroanatomy in medical students: a randomized controlled study. *CMAJ Open*, 6(1), E103–E109. <https://doi.org/10.9778/cmajo.20170110>
- Ende, J. (2020). Illuminating shadows: The power of learning by observing. *Academic Medicine*, 95(1), 20–21. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000003017>
- Fiorella, L., Stull, A. T., Kuhlmann, S., & Mayer, R. E. (2019). Instructor presence in video lectures: The role of dynamic drawings, eye contact, and instructor visibility. *Journal of Educational Psychology*, 111(17), 1162–1171. <https://doi.org/10.1037/edu0000325>
- Fiorella, L., van Gog, T., Hoogerheide, V., & Mayer, R. (2017). It's all a matter of perspective: viewing first-person video modeling examples promotes learning of an assembly task. *Journal of Educational Psychology*, 109, 653–665. <https://doi.org/10.1037/edu0000161>
- Flood, L. S., & Robina, K. (2014). Bridging the gap: Strategies to integrate classroom and clinical learning. *Nurse Education in Practice*, 14(4), 329–332. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2014.02.002>
- Fowler, C. (2015). Virtual reality and learning: Where is the pedagogy? *British Journal of Educational Technology*, 46(2), 412–422. <https://doi.org/10.1111/bjet.12135>
- Gibson, I. (2006). Rapid prototyping for medical applications. In I. Gibson (Ed.) *Advanced Manufacturing Technology for Medical Applications*; John Wiley & Sons, Ltd. pp.1–14.
- Gigante, M.A. (1993). Virtual reality: Definitions, history and applications. In R.A. Earnshaw, M.A. Gigante & H. Jones (Eds). *Virtual Reality Systems*; Academic Press Elsevier. pp. 3–14 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-227748-1.50009-3>
- Harrington, C. M., Kavanagh, D. O., Wright Ballester, G., Wright Ballester, A., Dicker, P., Traynor, O., Hill, A., & Tierney, S. (2018). 360° operative videos: A randomised cross-over study evaluating attentiveness and information retention. *Journal of Surgical Education*, 75(4), 993–1000. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.10.010>
- Hieu, L. C., Zlatov, N., Vander Sloten, J., Bohez, E., Khanh, L., Binh, P. H., Oris, P., & Toshev, Y. (2005). Medical rapid prototyping applications and methods. *Assembly Automation*, 25(4), 284–292. <https://doi.org/10.1108/01445150510626415>
- Iwata, K., & Gill, D. (2013). Learning through work: Clinical shadowing of junior doctors by first year medical students. *Medical Teacher*, 35(8), 633–638. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2013.801552>
- Jamil, G., & Isiaq, S. O. (2019). Teaching technology with technology: Approaches to bridging learning and teaching gaps in simulation-based programming education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(25), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0159-9>
- Kabene, S.M. & Wolfe, M. (2010). Risks and benefits in technology and healthcare. In S.M. Kabene (Ed). *Healthcare and the effect of technology: Developments, challenges, and advancements*. pp. 60–71. IGI Global: Hershey, PA.

- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. FT Press.
- Kurillo, G., Koritnik, T., Bajd, T. & Bajcsy, R. (2011). Real-time 3D avatars for tele-rehabilitation in virtual reality. In J.D. Westwood, S.W. Westwood, L. Felländer-Tsai, R.S. Haluck, H.M. Hoffman, R.A. Robb, S. Senger & K.G. Vosburgh (Eds.). *Medicine Meets Virtual Reality 18: Next Med*. pp. 290–303. IOS Press: Washington, DC. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-706-2-290>
- Mandernach, B. J., Forrest, K. D., Babutzke, J. L., & Manker, L. R. (2009). The role of instructor interactivity in promoting critical thinking in online and face-to-face classrooms. *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching*, 5(1), 49–62.
- Maresky, H. S., Oikonomou, A., Ali, I., Ditzkofsky, N., Pakkal, M., & Ballyk, B. (2018). Virtual reality and cardiac anatomy: Exploring immersive three-dimensional cardiac imaging, a pilot study in undergraduate medical anatomy education. *Clin Anat N Y n.*, 32(2), 238–243. <https://doi.org/10.1002/ca.23292>
- Max, M. L., & Burke, J. C. (1997). Virtual reality for autism communication and education, with lessons for medical training simulators. *Stud Health Technol Inform.*, 39, 46–53.
- Mazuryk, T. & Gervautz, M. (1996). Virtual Reality: History, applications, technology and future. pp. 1–72. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.42.7849&rep1&type=pdf>
- Meara, J. G., Leather, A. J. M., Hagander, L., et al. (2015). Global surgery 2030: Evidence and solutions for achieving health, welfare, and economic development. *The Lancet*, 386(9993), 569–624. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60160-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60160-X)
- Mukherji, B.R., Neuwirth, L.S. & Limonic, L. (2017). Making the case for real diversity: Redefining under-represented minority students in public universities. Sage Open, Special Diversity Edition. (Apr.-June): 1–10. <https://doi.org/10.1177/2158244017707796>
- Negi, S., Dhiman, S., & Kumar Sharma, R. (2014). Basics and applications of rapid prototyping medical models. *Rapid Prototyping Journal*, 20(3), 256–267. <https://doi.org/10.1108/rpj-07-2012-0065>
- Neuwirth, L.S., Ebrahimi, A., Mukherji, B.R. & Park, L. (2019). Addressing diverse college students and interdisciplinary learning experiences through online virtual laboratory instruction: A theoretical approach to error-based learning in biopsychology. In Information Resources Management Association (Ed.), *Virtual reality in education: Breakthroughs in research and practice: IGI Global* 511–531. <https://www.igi-global.com/chapter/addressing-diverse-college-students-and-interdisciplinary-learning-experiences-through-online-virtual-laboratory-instruction/195070>
- Neuwirth, L.S., Ebrahimi, A., Mukherji, B.R. & Park, L. (2018a). Addressing diverse college students and interdisciplinary learning experiences through online virtual laboratory instruction: A theoretical approach to error-based learning in biopsychology. In A. Ursyn (Ed.), *Visual Approaches to Cognitive Education with Technology Integration*: 283–303. <https://www.igi-global.com/chapter/addressing-diverse-college-students-and-interdisciplinary-learning-experiences-through-online-virtual-laboratory-instruction/195070>
- Neuwirth, L.S., Dacius, Jr. T.F. & Mukherji, B. Runi (2018b). Teaching neuroanatomy through a historical context. *The Journal for Undergraduate Neuroscience Education* (JUNE), 16(2), E26-E31. <http://www.funjournal.org/wp-content/uploads/2018/04/june-16-e26.pdf>
- Nowak, A., Wozniak, M., Pieprzowski, M. & Romanowski, A. (2019). Advancements in medical practice using mixed reality technology. In A. Abraham, N. Ghandi & M. Pant (Eds). *Innovations in bio-inspired computing applications. IBICIA 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 939. pp. 431–439: Springer, Cham.
- Pazemenas, V. (2000). Rapid development for medical products. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 3(2), 32–37. <https://doi.org/10.1109/5289.846261>
- Perez, C. (2016). Innovations in simulation technology: With technological advancements and innovations, simulation technology continues to be a valuable tool in medical education. *RT for Decision Makers in Respiratory Care*, 29(5), 14+. Accessed 25 May 2020.
- Rengier, F., Mehndiratta, A., von Tengg-Kobligh, H., Zechmann, C.M., Unterhinninghofen, R., Kauczor, H.U. & Giesel, F.L. (2010). 3D printing based on imaging data: Review of medical applications. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 5: 335–341. <https://doi.org/10.1007/s11548-010-0476-x>
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27(1), 169–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Ros, M. & Trives, J.V. (2020). Point-of-view recording device. U.S. Patent App. 16/341,070.
- Ros, M., Debien, B., Molinari, N., Cyteval, C., Gatto, F., & Lonjon, N. (2020a). Applying an immersive tutorial in virtual reality to learning a new technique. *Neurochirurgie*, 66(4), 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2020.05.006>
- Ros, M., Weaver, L. & Neuwirth, L.S. (2020b). Virtual reality stereoscopic 180-degree video-based environments: Applications for training surgeons and other medical professionals. In J. Stefaniak (Ed.),

- Cases on Instructional Design and Performance Outcomes in Medical Education [Manuscript accepted and in press] <https://www.igi-global.com/cases-instructional-design-performance-outcomes/244674>
- Ros, M. & Neuwirth, L.S. (2020). Increasing global awareness of timely COVID-19 healthcare guidelines through FPV training tutorials: Portable public health crises teaching method. *Nurse Education Today*, <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2020.104479>
- Ros, M., Trives, J. V., & Lonjon, N. (2017). From stereoscopic recording to virtual reality headsets: Designing a new way to learn surgery. *Neuro-Chirurgie*, *63*(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2016.08.004>
- Roughhead, E. E., Semple, S. J., & Vitry, A. I. (2010). Pharmaceutical care services: A systematic review of published studies, 1990 to 2003, examining effectiveness in improving patient outcomes. *International Journal of Pharmacy Practice*, *13*(1), 53–70. <https://doi.org/10.1211/0022357055551>
- Ruessler, M., Schill, A., Stibane, T., Damanakis, A., Schleicher, I., Menzler, S., Braunbeck, A., & Walcher, F. (2013). "Practical clinical competence" - a joint programme to improve training in surgery. *Zentralblatt Fur Chirurgie*, *138*(6), 663–668. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1328180>
- Ruiz, J. G., Mintzer, M. J., & Leipzig, R. M. (2006). The impact of E-learning in medical education. *Academic Medicine*, *81*(3), 207.
- Sattar, M.U., Palaniappan, S., Lokman, A., Hassan, A., Shah, N. & Riaz, Z. (2019). Effects of virtual reality training on medical students' learning motivation and competency. *Pak. J Med Sci*, *35*(3): 852–857. <https://doi.org/10.12669/pjms.35.3.44>
- Schroeder, R. (1993). Virtual reality in the real world: History, applications and projections. *Futures*, *25*(9), 963–973. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(93\)90062-x](https://doi.org/10.1016/0016-3287(93)90062-x)
- Seago, B. L., Schlesinger, J. B., & Hampton, C. L. (2002). Using a decade of data on medical student computer literacy for strategic planning. *Journal of the Medical Library Association*, *90*(2), 202–209.
- Sheik-Ali, S., Edcombe, H., & Paton, C. (2019). Next-generation virtual and augmented reality in surgical education: A narrative review. *Surg Technol Int.*, *35*, 27–35.
- Shellton, P. G., Corral, I., & Kyle, B. (2017). Advancements in undergraduate medical education: Meeting the challenges of an evolving world of education, health, and technology. *Psychiatric Quarterly*, *88*, 225–234. <https://doi.org/10.1007/s11126-016-9471-x>
- Shortell, S. M., Rundall, T. G., & Hsu, J. (2007). Improving patient care by linking evidence-based medicine and evidence-based management. *JAMA*, *298*(6), 673–676. <https://doi.org/10.1001/jama.298.6.673>
- Siuly, S. & Zhang, X. (2020). Guest editorial: Special issue on "application of artificial intelligence in health research." *Health In Sci Sys*, *8* (1) <https://doi.org/10.1007/s13755-019-0089-x>
- Smith, S. J., Farra, S. L., Ulrich, D. L., Hodgson, E., Nicely, S., & Mickle, A. (2018). Effectiveness of two varying levels of virtual reality simulation. *Nursing Education Perspectives*, *39*(6), E10–E15. <https://doi.org/10.1097/01.NEP.0000000000000369>
- Starly, B., Fang, Z., Sun, W., Shokoufandeh, A., & Regli, W. (2005). Three-dimensional reconstruction for medical CAD modeling. *Computer-Aided Design and Applications*, *2*(1–4), 431–438. <https://doi.org/10.1080/16864360.2005.1073832>
- Vallurupalli, S., Paydak, H., Agarwal, S. K., Agarwal, M., & Assad-Kottner, C. (2013). Wearable technology to improve education and patient outcomes in a cardiology fellowship program - a feasibility study. *Health Technology*, *3*, 267–270. <https://doi.org/10.1007/s12553-013-0065-4>
- Van Gog, T., Paas, F., Marcus, N., Ayres, P. & Sweller, J. (2008). The mirror neuron system and observational learning: Implications for the effectiveness of dynamic visualizations. *Educ Psychol Rev*. *21*:21–30. <https://doi.org/10.1007/s10648-008-9094-3>
- Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2009). Cognitive load theory in health professional education: Design principles and strategies. *Medical Education*, *44*(1), 85–93. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03498.x>
- Van Merriënboer, J. J. G. & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, *17*, 147–177. <https://doi.org/10.1007/s10648-005-3951-0>
- Vince, J. (1993). Virtual reality techniques in flight simulation. In R.A. Earnshaw, M.A. Gigante & H. Jones (Eds). *Virtual Reality Systems*; Academic Press Elsevier. pp. 135–141 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-227748-1.50018-4>
- Webb, P. A. (2010). A review of rapid prototyping (RP) in the medical and biomedical sector. *Journal of Medical Engineering and Technology*, *4*, 149–153. <https://doi.org/10.1080/03091900050163427>
- Willaert, W.I.M., Aggarwal, R., Van Herzele, I., Cheshire, N.J. & Vermassen, F.E. (2012). Recent advancements in medical simulation: Patient-specific virtual reality simulation. *World Journal of Surgery*, *36*: 1703–1712. <https://doi.org/10.1007/s00268-012-1489-0>
- Wolfe, C.R. & Cedillos, E.M. (2015). E-communications platforms and E-learning. In J.D. Wright (Ed.) *International Encyclopedia of The Social & Behavioral Sciences* (2nd Ed). pp. 895–902. Elsevier.

Zheng, C., Li, J., Zeng, G., Ye, W., Sun, J., Hong, J., & Li, C. (2018). Development of a virtual reality preoperative planning system for post-lateral endoscopic lumbar discectomy surgery and its clinical application. *World Neurosurg.*, *123*, e1–e8. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.08.082>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Maxime Ros is a pediatric neurosurgeon that graduated from Toulouse University, France. He also holds University degrees in Microsurgery, in Medical Education, and a Biomechanics Master of Research degree from Arts-et-Métiers Engineers' School of Paris. He is currently working towards the completion of a Ph.D. at the University of Montpellier, in the School of Education. He founded a Virtual Reality-based educational technology company, Revinax®, to promote skills sharing between healthcare professionals. Notably, he has been elected as a member of the French Academy of Surgery for this project.

Lorenz S. Neuwirth is an Assistant Professor at the State University of New York (SUNY), College at Old Westbury and the SUNY Neuroscience Research Institute, both in the United States. He earned his Ph.D. from the City University of New York (CUNY), Graduate Center in New York and his postdoctoral training in molecular epigenetics and neurotoxicology at Thomas Jefferson University in Philadelphia in the United States. Dr. Neuwirth's two main areas of research are in developmental behavioral neurotoxicology and in neuroscience education directed towards undergraduate students. He has been recognized by earning the 2018 Carol Ann Paul Educator of the Year Award by the Society for Neuroscience (SfN) and the Faculty for Undergraduate Neuroscience (FUN) Education. Additionally, he has been recognized by the SUNY 64-Campus system with the 2020 SUNY Chancellor's Award for Excellence in Teaching.

Sam Ng is currently working as a resident at the Department of Neurosurgery, at Montpellier University. He is now completing his Master's Degree in Cognitive Neurosciences at the same University. His main area of interest is in both clinical and basic research fields pertaining to Neuro-oncology. He also took part in various projects focused on the educational processes that are involved in surgery.

Blaise Debien is an Emergentist at Montpellier Hospital, France. He graduated from Bordeaux University and is specialized in Disaster medicine. He also holds a Master's Degree in Public Health from Sorbonne University, Paris. He is the Pedagogical Director of the Montpellier Emergency Training Center and Co-manages the Simulation Training Platform. He is a member of the Scientific Council of the French National Association of the Emergency Training Centers.

Nicolas Molinari is the Head of Biostatistics, Consultant and Professor of Clinical Research Unit at University Hospital of Montpellier, France. Professor Molinari earned his Ph.D. from the University of Montpellier and was subsequently a Fellow at McGill University in Montréal, Canada. His scientific research interests include Statistical Modelization of Clinical studies. He has co-authored more than 200 peer-reviewed articles.

Franck Gatto is an Assistant Professor in Education Sciences School at Montpellier University, France. He is member of the Interdisciplinary Laboratory of Research in Didactics, Education and Training. He holds a Master's Degree in Education Sciences dedicated to Healthcare Professionals. His research projects are focused toward didactics in healthcare, professionalization of healthcare and education to healthcare.

Nicolas Lonjon is the Head of the Spine Unit in the Department of Neurosurgery at University Hospital of Montpellier, France. He is a Professor in Neurosurgery that is specialized in Spine Surgery. He has been also a Neurosurgeon Officer in the AOspine Foundation during the last 3-years to promote education and knowledge globally. His scientific research is focused on the spine, spinal cord, and medical as well as surgical education. He has co-authored more than 50 publications.

Authors and Affiliations

Maxime Ros¹  · Lorenz S. Neuwirth^{2,3} · Sam Ng⁴ · Blaise Debien⁵ · Nicolas Molinari^{6,7} · Franck Gatto¹ · Nicolas Lonjon^{5,7}

Lorenz S. Neuwirth
neuwirthl@oldwestbury.edu

Sam Ng
sam-ng@hotmail.fr

Blaise Debien
b-debien@chu-montpellier.fr

Nicolas Molinari
nicolas.molinari@inserm.fr

Franck Gatto
franck.gatto0476@orange.fr

Nicolas Lonjon
n-lonjon@chu-montpellier.fr

- ¹ Education Sciences School - LIRDEF, Place Marcel Godechot, Montpellier University, 34000 Montpellier, France
- ² Psychology Department, SUNY Old Westbury, 223 Store Hill Road Bldg.: NAB, Room: 2059, Old Westbury, NY 11568, USA
- ³ SUNY Neuroscience Research Institute, SUNY Old Westbury, 223 Store Hill Road Bldg.: NSB, Room: S-007, Old Westbury, NY 11568, USA
- ⁴ Neurosurgery Department, Gui de Chauliac Hospital, 80 Avenue Augustin Fliche, 34295 Montpellier, France
- ⁵ Medical Simulation Training Center, 34090 Montpellier 641 Av. du Doyen Gaston Giraud, France
- ⁶ Clinical Research Unit, Lapeyronie Hospital, 371 Av. du Doyen Gaston Giraud, 34090 Montpellier, France
- ⁷ Montpellier Medical School, Rue de L'École de Médecine, 34090 Montpellier, France

9.5. ANNEXE 5. ARTICLE – AUGMENTER LA SENSIBILISATION GLOBALE EN UN TEMPS RESTREINT AUX DIRECTIVES COVID-19 GRACE A DES TUTORIELS EN POINT DE VUE A LA PREMIERE PERSONNE : METHODE D’ENSEIGNEMENT PORTABLE EN CAS DE CRISE DE SANTE PUBLIQUE – *Nurse Education Today (2020)*

RÉSUMÉ

Introduction :

La pandémie actuelle liée au COVID-19 a poussé le système de santé à apporter rapidement une réponse pour former de larges et divers groupes de professionnels de santé pour y faire face.

Méthode :

Pour répondre à ce besoin, nous avons créé un contenu pédagogique basé sur des vidéos filmées à la première personne, téléchargeable depuis l'application mobile Revinax Handbook, afin de former rapidement les utilisateurs aux procédures COVID-19. Huit nouveaux tutoriels ont été conçus pour cette plateforme technologique afin d'assister les professionnels de santé prenant en charge des patients atteints du COVID-19. Un questionnaire leur a ensuite été adressé pour évaluer leur intérêt.

Résultats :

Un mois après la mise à disposition de l'application, celle-ci a été téléchargée par 12516 utilisateurs. Les résultats du sondage ont montré que les tutoriels les ont aidés à apprendre les procédures COVID-19 efficacement, en temps réel. La croissance rapide des téléchargements et les retours positifs des utilisateurs apportent les preuves de la valeur de l'outil éducationnel que nous avons créé pour répondre à une demande émergente – et croissante.

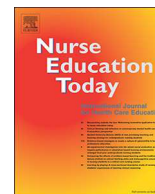
Discussion :

Le taux de réponse des utilisateurs de l'application, de l'ordre de 71,48% a montré un retour largement positif concernant les tutoriels COVID-19. Le fait que ces professionnels de santé

aient pris le temps de répondre au questionnaire durant une pandémie est un bon indicateur de sa valeur immédiate. De plus, les utilisateurs de l'application ont indiqué que les tutoriels en point de vue à la première personne ont été très utiles pour répondre à leurs besoins de formation en regard de leurs rôles concernant la prise en charge des patients COVID-19 durant la pandémie.

Conclusion :

Les tutoriels ont été déployés pour offrir un outil efficient et rapide, de sensibilisation et d'éducation à des problématiques de santé publique globale, pour apporter des réponses à propos concernant la formation sanitaire COVID-19.



Increasing global awareness of timely COVID-19 healthcare guidelines through FPV training tutorials: Portable public health crises teaching method



Maxime Ros^{a,b,*}, Lorenz S. Neuwirth^{c,d}

^a REVINAX, Cap Omega, Montpellier, France

^b Education Sciences School – LIRDEF, Montpellier University, Montpellier, France

^c Psychology Department, SUNY, Old Westbury, NY, USA

^d SUNY Neuroscience Research Institute (NRI), SUNY, Old Westbury, NY, USA

ARTICLE INFO

Keywords:

COVID-19
Educational technology
Health personnel
Interactive tutorial
Mobile applications
Public health informatics
Video recording

ABSTRACT

Introduction: The current COVID-19 pandemic has prompted a timely response from the healthcare system train a large and diverse group of healthcare workers/responders swiftly.

Methods: In order to address this need, we created a downloadable pedagogical video content through first-person point-of-view to rapidly train users on COVID-19 procedures in the Revinax® Handbook mobile App. Eight new tutorials were designed through this technology platform to assist healthcare workers/responders caring for COVID-19 patients. A survey was then sent to assess their interest.

Results: In one-month since the App was created, it was downloaded by 12,516 users and a feedback survey determined that the users valued the tutorials in helping them learn COVID-19 procedures efficiently in real-time. The fast-growing number of downloads and positive user feedback evidences that we created a valuable educational tool with an emergent- and growing-demand.

Discussion: The 71.48% App user response rate, showed largely positive feedback of the COVID-19 tutorial. The fact that these healthcare workers/responders took the time to complete the survey during a pandemic was indicative of its immediate value. Further, the App users indicated that they FPV tutorial was rather helpful in addressing their training needs regarding their roles in COVID-19 patient care during the pandemic.

Conclusion: The tutorials were deployed to offer efficient and rapid global public health educational outreach as a tool to address COVID-19 healthcare training in a timely manner.

1. Introduction

Time to act has never been more crucial than the current coronavirus (hereon referred to as COVID-19) pandemic that has forced the immediate utilization of technology due to social distancing requirements and has also increased a complex set of challenges for the applied medical and public health systems to address in coordination with other countries globally. This situation is truly unprecedented, yet a major concern has been to institute a concerted effort in limiting sources of contamination from the greater population by limiting the number of patients seen that are only symptomatic to hospitals. The rationale for this strategy was to not overwhelm the hospitals capacity to operate and delivery adequate patient care during these trying times and is consistent from what we have learned from flattening the curve as the initial response (Branas et al., 2020). In the current COVID-19

surge that the world is facing, there is an eminent need to rapidly train many healthcare workers/responders to adapt their job duties to meet the new COVID-19 guidelines (World Health Organization [WHO], 2020). To implement appropriate patient care in response to COVID-19, healthcare workers/responders must first protect themselves to ensure patient care can be delivered and second, in order to limit the spread of COVID-19 via patient, person, and other surface contaminations (Huh, 2020). Notably, this patient care control response requires an ever-changing adaptation of workplace, hygiene, and patient care practices for healthcare workers/responders to be able to safely work in a hospital environment that will be contaminated by COVID-19 through the patients they care for within the environment. Moreover, depending on the hospital environment, healthcare workers are also facing staffing shortages (*i.e.*, as co-workers and support staff contract and fall ill to COVID-19 and if unaffected by COVID-19 are over worked to help curb

* Corresponding author at: Education Sciences School, LIRDEF – EA3749, 2 place Marcel Godechot, 34000 Montpellier, France.

E-mail address: maxime.ros@revinax.net (M. Ros).

<https://doi.org/10.1016/j.nedt.2020.104479>

Received 4 May 2020; Accepted 19 May 2020

0260-6917/ © 2020 Elsevier Ltd. All rights reserved.



Fig. 1. Illustrates the recording hardware set up (black arrow) that are attached to the medical healthcare professional expert that performed the procedures in real-time. The medical healthcare professional is wearing a harness with an arm extending from his back permitting the recording to occur above his head during the procedures. At the tip of the arm, a case containing two cameras (white arrow) records his first-person point-of-view (FPV).

its spread), which are a significant factor contributing to overwhelming the hospital capacity (Adams and Walls, 2020).

Thus, in an effort to reduce these challenges, some healthcare professionals are being transferred, re-deployed (*i.e.*, both elective and non-elective) to work in different hospital environments (*i.e.*, between city, county, state, or even country), and perhaps not within their original specialty to help address the COVID-19 pandemic. In some cases of predicted healthcare worker/responder shortages and increases trends for overwhelming hospital capacity, current university/college medical doctors, nurses, *etc.* are graduating earlier than their degree timeline in an effort to deploy more healthcare workers/responders to support the individuals already in the frontlines (Harvey, 2020). A fundamental problem that is directly attached to this issue of healthcare worker/responder supply and demand during the COVID-19 pandemic, is how can the healthcare system adequately train such a large number of and diverse group of health-care workers/responders in such a short time-period? The frontline health-care workers/responders must be as best prepared as possible in order to take care of patients. Depending upon the healthcare and/or hospital centers in which these health-care workers/responders were stationed, some had time to be trained in a simulated environment, whereas others were trained through online courses for their students (Rose, 2020). This is also consistent with the social distance requirements to reduce unnecessary close proximity of a formal in-person educational classroom in order to educate and train students as well as healthcare workers/responders.

However, a real challenge arises from quality controls regarding the ability to acquire and/or apply new behavioral skills in the most realistic environment; nevertheless, an environment that is ever changing. Thus, in order to address this timely issue, the present rapid communication sought to provide COVID-19 healthcare workers/responders a means to rapidly create educational content that can be deployed (*i.e.*, at any time including just before any medical/surgical procedure) adequately, efficiently, and meaningfully to best alleviate the issues faced by hospitals, health-care workers/responders, and patients.

In particular, the healthcare and/or hospital centers have used videos to share the challenges they faced along with their expertise to

better inform their constituents among and within their healthcare worker/responder and hospital communities. Notably, scientific societies have worked towards producing online courses with video content to help translate and explain the behavioral skills that they would like healthcare workers/responders to acquire and reliably replicate within the real world/applied healthcare environment (*e.g.*, how to properly don and remove personal protective equipment [PPE] to reduce the likelihood of contamination; Rush University Medical Center, 2020). It is important to note that training videos are easier to create, facilitate, and deploy in such hospital care settings, but offer a passive learning approach that may lack necessary levels of engagement (*i.e.*, lack of sustained and focused attention by the learner). This is critical as such a passive learning format may also create inadvertent lapses or gaps in learning that is expected to be acquired by the health-care worker/responder. Ros et al. (2017) have previously described more actively engaging and meaningful way to create and develop pedagogical video content to acquire new skills through the following: 1) first person point-of-view (FPV); 2) shorter refined chapter modules; 3) with additional pedagogical data to reinforce learning new behavioral skills. The FPV has demonstrated a greater value that has shown to translate into increase learner comprehension and a reduction in learner mistakes within the real environment (Fiorella et al., 2017). This FPV method in creating content that can be more easily acquired and retained by the learner, was initially described using an Immersive Virtual Reality Application (IVRA; *i.e.*, which requires a head-mounted display [HMD]), but also can be deployed more economically and efficiently through a smartphone. Given the unprecedented COVID-19 situation, we anticipated the release of a new healthcare worker/responder application with guidelines to scale up and provide rapid training content that could be used on the healthcare workers/responders personal smartphones to increase the efficiency, transferability, and reliability across local and more distant environments through technology as a responsible global public health educational outreach.

2. Methods

The content that was developed complied with general data protection regulations (GDPR) for users that chose to download it on their smartphones. The current content was developed to address the COVID-19 healthcare worker/responder needs was modeled from the FPV content that was used to create neurosurgical physician and medical care content (Ros et al., 2017), but with the aim to apply it to a wider healthcare worker/responder audience. The creation of the learning content (*i.e.*, tutorial) involved the following three steps: First, the procedure was recorded in 3D from the expert medical professional's FPV (*i.e.*, using the equipment worn by the expert performing the procedure). The Fig. 1 presents the hardware set-up on an expert.

Second, the movie was organized into refined chapter modules corresponding to the different steps of the surgery (*i.e.*, the editing process comprised calibration, synchronization, and stabilization of the two videos). Finally, the voice over comments were recorded and the imaging was then drawn along with data that were incorporated into the tutorial. The learning content was extended to create content specifically dedicated to nurses as what was done previously (Ros et al., 2017). In response to the COVID-19 pandemic and the need for ongoing surgical interventions, the current tutorial was created and deployed within one week and the first eight novel tutorials were specifically designed for healthcare workers/responder taking care of COVID-19 patients. The rapid production of these tutorials comprised a step-by-step assessment to reliably ensure the learners interest. This included adding three more tutorials on how to safely approach a COVID-19 positive patient. The first tutorials were produced and captured outside of the hospital setting:

- Best practices for disinfecting hands with alcohol-based solutions
- Proper use and functions of protective masks
- Radial arterial sample for ABGs in a COVID-19-positive patient
- Dressing/Undressing for “Contact - Droplets”: Protective equipment with a COVID-19 positive patient
- Taking a nasopharyngeal sample for COVID-19 diagnosis

This was followed by tutorials within the Medical Simulation Center demonstrating the aforementioned steps on a respiratory mannequin:

- Endotracheal intubation in a COVID-19 positive patient
- Endotracheal extubation in a COVID-19 positive patient
- Cardiopulmonary resuscitation of a COVID-19 positive patient

Through the access of an Intensive Care Unit (ICU), the following recording was conducted in an empty room:

- Starting a respiratory machine in a hospital

An additional two tutorials are under production on a COVID-19 patient in ICU:

- “Closed suction for intubated patients”
- “Prone Decubitus” (we already recorded this, but for operating room, not for an intensive care unit).

The tutorials have been deployed since that can be easily accessed as a the Revinax® Handbook — Nurses App on any healthcare workers'/responders' smart phone that is released as a download on the Appstore and the Playstore, for both iPhone and Android users, respectively. Fig. 2 shows the user interface of the app.

Following the download and tutorial usage, the healthcare workers'/responders were asked to complete a short survey in order to obtain user feedback on this responsible global public health educational outreach technology.

The survey questions were as follows:

- Is the Revinax® App a good tool to support you to gain competencies? (Answers from 1 “not at all” to 10 “absolutely”)
- Did you get a better understanding of certain procedures expected of you through the tutorials? (*Yes or No*)
- More specifically, did the tutorials from the COVID-19 category make you feel ready to take care of these patients? (Answers from 1 “not at all” to 10 “absolutely”)
- More generally, did the tutorials address your training/learning need right now? (*Not at all/not really/rather/absolutely*)
- After having watched the COVID-19 tutorial, do you feel confident to perform the procedures yourself? (*Not confident at all/Not that much confident/Quite confident/Very confident*)
- Would you recommend the Revinax® App to other healthcare workers/responders?

3. Results

3.1. APP download user demographics

Since the initiation of this responsible global public health educational outreach effort, the Revinax® Handbook — Nurses App has been downloaded by 12,516 users/learners/healthcare workers/responders in one month (*i.e.*, that is 3129 downloads per week, 447 downloads per day, and 18.63 downloads per hour evidencing a translatable emergent-and growing-demand). Furthermore, of the 12,516 downloads, 2671 were from non-qualified users (21.24%), whereas of the remaining 9845 downloads, 8729 were identified as nurses/nursing students (69.74% of all users and 88.66% of all qualified health-care workers/responders), and the 1116 were a mixture of medical assistants, students, physicians and undefined healthcare workers/responders (8.92%). Fig. 3 illustrates the user population demographics for the study.

Further, of the 8941 nurses that downloaded the App, 5921 disclosed (66.22%) that they were registered nurses (*i.e.*, among them 5310 were graduated nurses [89.68%], 226 were scrub nurses [3.82%], and 173 were nurses anesthetist [2.92%], respectively). Moreover, of the 8941 nurses that downloaded the App, 3020 were nursing students (33.78%). Of these 3020 nursing students, 2837 were not specialized (93.94%), whereas 121 were specialized as nurse anesthetist (4.01%), and 62 were specialized as scrub nurses (2.05%), respectively. Notably, of the 904 remaining mixture of medical assistants, students, and physicians, 352 self-disclosed as nurses' assistant (38.94%), 311 self-disclosed as medical students (34.40%), and 241 self-disclosed as physicians (26.66%), respectively.

3.2. COVID-19 tutorial feedback survey outcomes

From the 12,516 downloads, we sent out a feedback survey during the first 72 h of deploying the survey and we obtained 366 replies. During this precise time-period, the number of downloaded subscribers were 512 (*i.e.*, 122 responses per day from an estimated 171 downloads per day — which is a 71.48% response rate with a $\pm 10\%$ margin of error making it statistically significant). Notably, despite the COVID-19 pandemic, the users found that the tutorials through the App were very useful and took the time to complete the survey even during these trying times. This is a critical point as typical respondent data from surveys is hard to obtain, and one would have suspected a lower respondent rate given a pandemic. Thus, having a 71.48% response rate with positive user results suggests that the users valued and found the tutorials helpful in translating the skills they needed for COVID-19 patient care. The survey results showed that healthcare workers/responders and/or students in these fields considered this App appropriate to learn and review skills related to the COVID-19 pandemic. Further, more than 95% of the respondents gave a score equal to or higher than 5 for gaining competencies, whereas 88% of the respondents said it corresponded to their healthcare related needs.

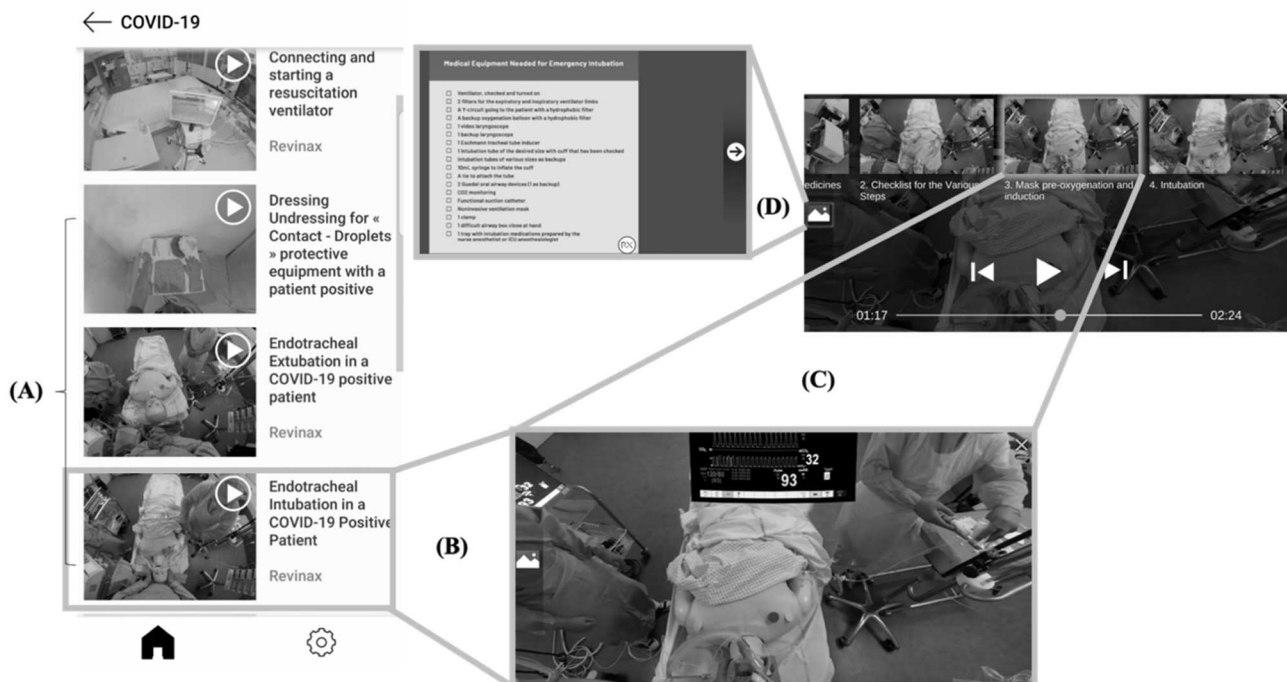


Fig. 2. Illustrates the screenshot of the App tutorial as viewed by the user. (A) shows the User Interface with the library content. (B) depicts the movie in the first-person point-of-view (FPV) of an Endo-Tracheal Intubation procedure adapted to a COVID19+ patient. (C) Illustrates the chapters that correspond to the different procedural steps for that medical procedure. (D) Is an example of additional data that are available to the user by tapping the icon that is located on the left side of the screen.

Additionally, 93% of the respondents said it gave them a better understanding, compared to 87% of the respondents that felt quite or very confident to perform the procedures as shown in the tutorials. Lastly, 94% of respondents indicated that the COVID-19 specific tutorial made them feel ready to care for COVID-19 patients, and finally, 95% of respondents recommended the App.

4. Discussion

Movies in medicine became available following advances in cinematography that have been more recently truncated to shorter video clips or segments (Essex-Lopresti, 1998a). Further, the first medical

movie published was in 1897 corresponding to animated X-ray pictures. Dr. John Macintyre took a series of photographs of a knee in various degrees of flexion and extension, then suturing them and projected the procedures. It helped medical students to study different aspects of the animated movement. The first time a video was used in lectures was the same year that Paul Schister filmed patients with Parkinson's disease to explain and illustrate their different motor symptoms. Notably, the first surgical video was recorded during the first half of the 20th century. At that time, there were skeptics regarding the pedagogic value of movies, when compared to traditional lectures and more hands-on applied practicum training. For example, medical videos portraying clinical examinations relevant to the discussion of new types of syndromes were

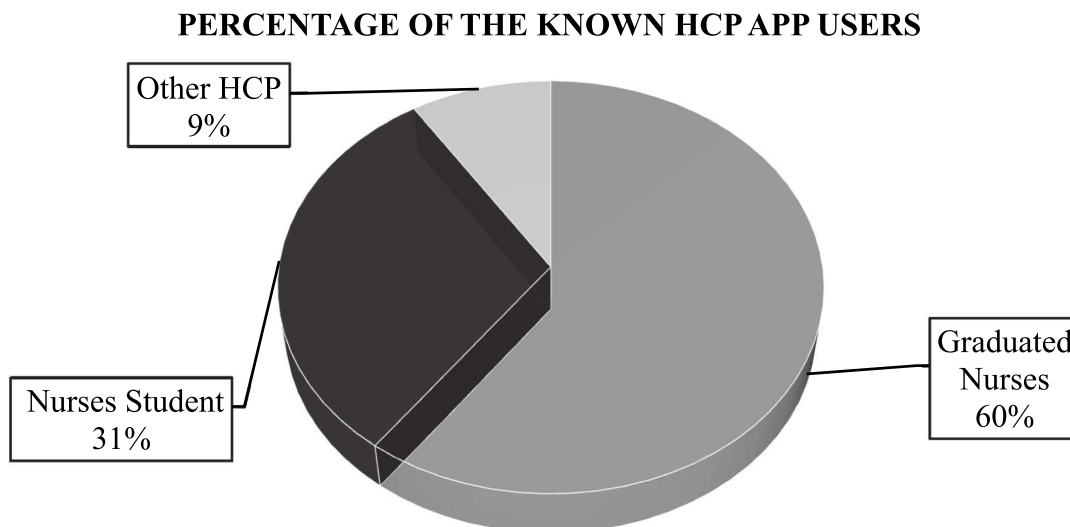


Fig. 3. Illustrates the percentage of the known healthcare professionals (HCP) App tutorial users. Note that two-thirds of the App tutorial users were graduated professional nurses, whereas one-third of the App tutorial users were currently enrolled nursing students. The remaining HCP comprised 9% of the App users.

shown to students. As the demographic of new generations of students have changed over time (e.g., first-generation immigrant and first-generation college students, etc.; Mukherji et al., 2017), students may prefer different applied learning formats over a traditional lecture (Neuwirth et al., 2018, 2019) and the traditional practicum applied learning can be leveraged through an active FPV tutorial (Ros et al., 2020) perhaps better than the passive medical videos.

Regardless, medical movies have been used progressively and in a variety of ways for public health purposes. They have been most recently used to provide medical explanations and promote disease prevention programs, thereby underlining the pedagogical of transferring education through the power of movies. During the latter half of the 20th century, British universities developed a large database that includes a variety of medical movies explicitly for study purposes (Essex-Lopresti, 1998b). At the beginning of the 21st century, it became clear that watching medical movies represented an effective way, at least for learning about surgical techniques (Hayden et al., 2015). Thus, surgeons should be encouraged to develop movie databases for use in their schools or for publication in modern peer-reviewed journals (Brunaud, 2013).

One of the main advantages of the immersive tutorial, in contrast to medical videos, is that it enables the user to *live* the experience from a FPV: to learn through “the expert's own eyes.” An interesting study published by Fiorella et al. (2017) compared learning a procedure from a FPV to learning from the opposite side (i.e., non-FPV or opposing observer perspective to mirror the person doing the task). Compared to the group that learned from the FPV, the learning from the opposite side group made up to 50% more mistakes, while reproducing the assembly of an electronic system. These results suggest that FPV learning increases the learners' skill acquisition, comprehension, and behaviors as evidenced by less errors. Further, these results may be uniquely explained by the way that mirror neurons (i.e., neural circuits that are explicitly involved in our visual monitoring of others, encode empathy, and facilitate the learning of watching others doing a task, assigning it value, and then implementing the tasks ourselves; Rizzolatti and Craighero, 2004) work more optimally by reducing its “cognitive load” (Van Gog et al., 2008).

Such a reduction of cognitively load, may in turn, free up more cognitive reserves to further aid in the skill acquisition, comprehension, and behavioral exhibition of transformative learning *via* FPV. This situation presents yet another fundamental question, as to what would be the value of a FPV tutorial world-wide system in contrast to a university's medical video library? Would it have greater potential for transformative learning? How could it further shape the medical healthcare system? These ideas are not far-fetched as 30 years ago educators were skeptical of online degrees and the learning outcomes of students. Today, as standards and different uses of technology have evolved, so too has the rigor of such educational online formats. Thus, an analogous argument can be made here with respect to medical movies compared to FPV tutorials within a pandemic directly effecting people globally. An advantage to the learning in FPV compared to medical videos is that the possibility for an immediate local download on a healthcare workers'/responders' smart phone can be accessed at any time in real-time prior to, during, or after patient care interactions. In addition, if it is downloaded on the users' smartphone, it can then be accessed and viewed at any time irrespective of network signal or service issues. Since the FPV tutorial is edited, it permits the healthcare worker/responder with the possibility to self-navigate through or to skip to chapters/modules of most relevance to them. This feature has been shown to have a distinct pedagogical value (Zhang et al., 2006) as healthcare workers/responders can easily browse the necessary information, thereby increasing efficiency of patient care services. The survey results showed that the tutorials offered a better understanding of the procedures the healthcare workers/responders were to complete, thereby making them more confident and feeling ready to face the situations to care for COVID-19 patients. The results of the survey

suggested that the learning content delivered to them through the App seemed to address their needs. It is important to note that the majority of the audience here were nurses, but these tutorials has also piqued the interest of some physicians. More importantly, these tutorials have also piqued the interest of next generation medical/healthcare professional students, which is consistent with a generational shift in learning format displays.

5. Conclusion

The present rapid communication sought to evaluate the interest, usage, and potential of the FPV COVID-19 tutorial for healthcare workers/responders during a pandemic as a responsible global public health educational outreach technological tool. The findings of this adjunctive pedagogy have shown to be well received by frontline nurses and future nursing students. Further, the information allows the healthcare worker/responder a wide range of flexibility to initial learn, relearn, and review the material as needed to help as a powerful and rapid transferable medical intervention. There may be limitations to this technology as not all countries and hospitals may employ the same procedures, which have to be taken into consideration. However, for the most part, these tutorials were developed keeping in mind the most universal applications possible to help alleviate this important concern. Moreover, these tutorials have been translated from French and the voice-over recording has begun in English, as a universal language, to be deployed in many other countries. In closing, it is better to be ready to face an emergency and to have this material already available, but in case of a change of the evolving recommendations, concerns for re-infection of or resurgence of COVID-19, the current tutorials were designed and deployed to offer efficient, effective, and rapid responsible global public health educational outreach technology tool direct towards alleviate the overwhelming experiences that hospitals, healthcare workers/responders, and patients face due to the COVID-19 pandemic.

Contributors

Dr. Maxime Ros conceived of, conducted, and implemented the technological design of the FPV tutorials, and acquired the data. Drs. Maxime Ros and Lorenz S. Neuwirth analyzed and interpreted the data, then wrote and approved the final version of the manuscript ensuring it contained important intellectual content to be submitted.

Declaration of competing interest

Dr. Maxime ROS is a neurosurgeon. He was practicing at the Montpellier University Hospital before founding Revinax®, the company that developed and created the methodology for the immersive first person POV tutorials as described herein.

Acknowledgments

We thank Pr. Thomas Geeraheart, Head of the Medical Simulation Center of Toulouse Hospital, for granting us the permission to record the Intubation, Extubation, and ACR procedures. In addition, we would like to thank Dr. Marc Beaussier, M. Vincent Roques, and Ms. Vinciane Mysliwice from the Institut Mutualiste Montouris (Paris) for recording the Ventilator tutorial. Lastly, we would like to thank Ms. Sarah Daudé for recording the extra-hospital tutorials.

References

- Adams, J.G., Walls, R.M., 2020. Supporting the health care workforce during the COVID-19 global epidemic. *JAMA* [Internet] 323 (15), 1439–1440. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.3972>. 2020 Mar 12 [cited 2020 Apr 18]; Available from: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2763136>.

- Branas, C.C., Rundle, A., Pei, S., Yang, W., Carr, B.G., Sims, S., 2020. Flattening the curve before it flattens us: hospital critical care capacity limits and mortality from novel coronavirus (SARS-CoV2) cases in US counties [internet]. *Epidemiology* 2020 Apr [cited 2020 Apr 18]. Available from: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2020.04.01.20049759>.
- Brunaud, L., 2013. Will watching videos make us better surgeons? *J. Visc. Surg.* 150 (5), 295–296.
- Essex-Lopresti, M., 1998a. The medical film 1897–1997: part I. the first half-century. *J. Audiov. Media Med.* 21 (1), 7–12.
- Essex-Lopresti, M., 1998b. The medical film 1897–1997: part II. The second half-century. *J. Audiov. Media Med.* 21 (2), 48–55.
- Fiorella, L., van Gog, T., Hoogerheide, V., Mayer, R., 2017. It's all a matter of perspective: viewing first-person video modeling examples promotes learning of an assembly task. *J. Educ. Psychol.* 12 (109), 653–665.
- Harvey, A., 2020. Covid-19: medical schools given powers to graduate final year students early to help NHS. *BMJ* 368. <https://www.bmj.com/content/368/bmj.m1227>.
- Hayden, E.L., Seagull, F.J., Reddy, R.M., 2015. Developing an educational video on lung lobectomy for the general surgery resident. *J. Surg. Res.* 196 (2), 216–220.
- Huh, S., 2020. How to train health personnel to protect themselves from SARS-CoV-2 (novel coronavirus) infection when caring for a patient or suspected case. *J. Educ. Eval. Health Prof.* 7 (17), 10.
- Mukherji, B.R., Neuwirth, L.S., Limonic, L., 2017. Making the case for real diversity: redefining underrepresented minority students in public universities. *Sage Open*, Special Diversity Edition 1–10. (Apr.–June): <https://doi.org/10.1177/2158244017707796>.
- Neuwirth, L.S., Ebrahimi, A., Mukherji, B.R., Park, L., 2018. Addressing diverse college students and interdisciplinary learning experiences through online virtual laboratory instruction: a theoretical approach to error-based learning in biopsychology. In: Ursyn, A. (Ed.), *Visual Approaches to Cognitive Education with Technology Integration*, pp. 283–303. <https://www.igi-global.com/chapter/addressing-diverse-college-students-and-interdisciplinary-learning-experiences-through-online-virtual-laboratory-instruction/195070>.
- Neuwirth, L.S., Ebrahimi, A., Mukherji, B.R., Park, L., 2019. Addressing diverse college students and interdisciplinary learning experiences through online virtual laboratory instruction: a theoretical approach to error-based learning in biopsychology. In: *Information Resources Management Association (Ed.), Virtual Reality in Education: Breakthroughs in Research and Practice: IGI Global*, pp. 511–531. <https://www.igi-global.com/chapter/addressing-diverse-college-students-and-interdisciplinary-learning-experiences-through-online-virtual-laboratory-instruction/195070>.
- Rizzolatti, G., Craighero, L., 2004. The mirror-neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.* 27 (1), 169–192.
- Ros, M., Trives, J.V., Lonjon, N., 2017. From stereoscopic recording to virtual reality headsets: designing a new way to learn surgery. *Neurochirurgie* 63 (1), 1–5.
- Ros, M., Weaver, L., Neuwirth, L.S., 2020. Virtual reality stereoscopic 180-degree video-based environments: applications for training surgeons and other medical professionals. In: Stefaniak, J. (Ed.), *Cases on Instructional Design and Performance Outcomes in Medical Education*, [Manuscript accepted and in press]. <https://www.igi-global.com/book/cases-instructional-design-performance-outcomes/244674>.
- Rose, S., 2020. Medical student education in the time of COVID-19. *JAMA* [Internet]. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.5227>. 2020 Mar 31 [cited 2020 Apr 18]; Available from: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2764138>.
- Rush University Medical Center, 2020, April 18. Personal Protective Equipment for COVID-19 Care [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=84CydmuHXD8>.
- Van Gog, T., Paas, F., Marcus, N., Ayres, P., Sweller, J., 2008. The mirror neuron system and observational learning: implications for the effectiveness of dynamic visualizations. *Educ. Psychol. Rev.* 1 (21), 21–30.
- World Health Organization, 2020, April 18. Critical preparedness readiness and response actions COVID-10 2020-03-22_FINAL-eng.Pdf [internet]. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331511/Critical%20preparedness%20readiness%20and%20response%20actions%20COVID-10%202020-03-22_FINAL-eng.pdf.
- Zhang, D., Zhou, L., Briggs, R.O., Nunamaker, J.F., 2006. Instructional video in e-learning: assessing the impact of interactive video on learning effectiveness. *Inf. Manag.* 43 (1), 15–27.

**9.6. ANNEXE 6. CHAPITRE – ENVIRONNEMENTS DE REALITE
VIRTUELLE IMMERSIVE BASEE SUR DES FILMS
STEREOSCOPIQUES A 180 DEGRES : APPLICATION POUR
FORMER LES CHIRURGIENS ET LES AUTRES PROFESSIONELS
MEDICAUX– *Cases on Instructional Design and Performance Outcomes
in Medical Education, IGI (2020)***


RÉSUMÉ

Les applications théoriques et pratiques de la VR immersive, bien que récentes, ont déjà accompli beaucoup dans le domaine des applications pédagogiques. Ce chapitre décrit le cadre conceptuel et l'approche de REVINAX basée sur des vidéos à 180 degrés pour parvenir à combler le fossé académique de l'enseignement conventionnel observatoire des étudiants chirurgiens et infirmiers. Comment les environnements VR immersifs pourraient permettre de mieux tirer parti des capacités des apprenants pour augmenter l'acquisition de compétences, d'apprentissage, de rétention en une période de temps plus efficace, contournant les problèmes inhérents à l'observation conventionnelle. De plus, ces expériences VR en point de vue à la première personne, même simulée ou artificielle, font appel aux neurones miroirs et peuvent recruter des circuits neuronaux impératifs pour l'acquisition des compétences et leur mise en application secondaire. En ce sens, la conception d'instruction de Revinax peut apporter un aperçu unique de comment utiliser un environnement VR pour enseigner à n'importe quel apprenant qui cherche à acquérir une formation professionnelle chirurgicale/médicale plus efficiente et pratique dans un nouveau monde de technologie.

Chapter 5

Virtual Reality Stereoscopic 180-Degree Video-Based Immersive Environments: Applications for Training Surgeons and Other Medical Professionals


Maxime Ros

 <https://orcid.org/0000-0002-2149-165X>
*Revinax®, France & Educational Sciences Department, University of
Montpellier, France*

Lorraine Weaver

Thompson Rivers University, Canada

Lorenz S. Neuwirth

 <https://orcid.org/0000-0002-8194-522X>
Neuroscience Research Institute, SUNY Old Westbury, USA

EXECUTIVE SUMMARY

The theoretical and practical applications of immersive VR, although relatively new, have accomplished much in the area of pedagogical learner applications. This chapter describes the conceptual framework and Revinax® 180-degree stereoscopic video-based approach in addressing the academic achievement gap through conventional surgical students and nurses shadowing and how immersive VR environments may best address leveraging the learner's capability of increasing their skill acquisition, learning, and knowledge retention in a more efficient time-period, circumventing the inherent issues with conventional shadowing. Further, these VR experiences through

DOI: 10.4018/978-1-7998-5092-2.ch005

Copyright © 2020, IGI Global. Copying or distributing in print or electronic forms without written permission of IGI Global is prohibited.

first-person Point of View (POV), although simulated and artificial, evoke mirror neurons, and can recruit neurocircuitry that are imperative for skill acquisition and later skill application. As such, the Revinax® instructional design model may provide a unique insight in how to use immersive VR environments to teach any learner that seeks to acquire surgical/medical professional training more efficiently and practically in a modern world of technology.

INTRODUCTION

New technological programs, tools, and devices often create excitement and curiosity as people seek to learn about new technologies and their potential future applications. This is especially true for individuals that given their specific job/training roles, could find ways in which technology can help them complete their work more effectively and efficiently. Thus, it is not surprising that many educators and future generation learners are currently increasingly exposed to pedagogical approaches targeted at technology-dependent learning instruction over conventional approaches. Such modern pedagogical technology-dependent approaches have already begun, yet as many emerge, a clearer understanding of their utility, generalization, and translational application(s) from the learning environment into real-world contexts, become the greatest sought after outcome measure. Further, some of these technology-dependent applications may be less educationally immersive (*e.g.*, avatar simulations, 2-D video simulations, passive video recording instruction, etc.), while others can be more educationally immersive (*e.g.*, virtual reality [VR], stereoscopic first-person point-of-view [POV] instruction, etc.). Therefore, during such a technologically expansive, exciting, and necessary time-period, educators are seeking novel and effective approaches for elucidating which technological programs, tools, and devices would be best suited for their pedagogy is warranted. In order to shed light on this very issue, the present study offers an unbiased assessment of how VR can be used in novel evidence-based ways for assessing educational training of surgeons and other medical professionals.

As such, VR has evolved significantly from its inception in the 1950s (*For Review See Mandal, 2013*) and is presently emerging as a versatile pedagogical tool that can be used to train surgeons more effectively and efficiently across a number of medical interventions (Alaker, Wynn & Arulampalam, 2016; Vaughn, Dubey, Wainwright & Middleton, 2016; Aim, Lonjon, Hannouche & Nizard, 2015; Ragan et al., 2015; Anderson, Winding & Vesterby, 2011; Gurusamy, Aggarwal, Palanivelu & Davidson, 2008; Aggarwal et al., 2007; Haque and Srinivasan, 2006). Despite the fact that VR encompasses a wide range of user experiences that are appropriate

for different training objectives and applications, it has also been shown to have an increasing demand and interest in the educational training of more medical applications (Kamińska et al., 2019; Górski, Bun, Wichniarek, Zawadzki & Hamrol, 2017;). Consistent with these current trends, Revinax® has uniquely integrated VR technology with the use of a stereoscopic 180-degree video-based intervention to provide surgeons and other medical professionals with a first-person POV of the surgical procedures that they will be trained on, in addition to accessing other relevant patient data as part of the curriculum for a surgical training program. The goal of this surgical training program was to: 1) provide video-based evidence of the value of stereoscopic 180-degree VR; 2) establish the importance of its technological and curricular design; 3) discuss what the field can learn from modeling, validating, reliably testing, and/or building upon such pedagogical technologies; and 4) how such technology can be effectively used for educating medical students and professional on surgical interventions through more immersive experiences.

WHAT IS VIRTUAL REALITY (VR)?

There are many definitions of VR, partly because of the wide range in which it is executed in order to achieve the context-specific goals of the design team. Some current examples of VR definitions are: creating digital worlds/environments suitable for real-time human learning (Górski, Bun, Wichniarek, Zawadzki & Hamrol, 2017), an environment for users to interact with artificial stimuli in a somewhat naturalistic way (Concannon, Esmail & Roduta-Roberts, 2019), “an artificial three-dimensional environment... presented to a person in an interactive way” (Kamińska et al., 2019, p. 2), and as an environment which promotes immersion, interactivity and imagination (Concannon et al., 2019; Kamińska et al., 2019). These VR definitions provide the theoretical framework from which pedagogical instructional designers can begin to envision the kinds of artificial, somewhat naturalistic, and immersive environments that they would like to create as part of their curriculum. Further, the exact time-points or active learning opportunities that they envision, can then be pre-determined within these VR environments to control and investigate through evidence-based means, how the student users’ interactivity within and responsivity to the VR environment can be investigated. This latter point is pivotal since the instructional design of VR environments have varying levels of user immersion, and without such proper instructional design intention and controls in place, identifying an evidence-based pedagogical approach through VR would be obscure. Arguably, the levels of user immersion within the VR environment, directly relates to whether or not a user can experience aspects of the VR environment that will facilitate them in obtaining a simulated sensory experience of the real-world (Concannon

et al., 2019). Moreover, the levels of immersion experienced by the user directly affects how “*actively present*” the user feels within the VR experience (Górski et al., 2017). Kamińska et al. (2019) notes that the “*level*” of immersion that the user experiences should be adjusted based upon the curricular training goals with the lowest-level of immersion being used for knowledge acquisition (*i.e.*, the short-term learning objective), a moderate-level for skills acquisition (*i.e.*, sustained learning acquisition and skills maintenance), and a high-level of immersion for problem solving (*i.e.*, applied learning, contextual (re)organization, and generalization of skills learned from one environment to another). According to Fowler et al. (2015) the most important factors that are used as criteria to obtain a successful 3D VR learning environment/experience for the user are: 1) presence (*i.e.*, the user feels as if he or she were within the environment), 2) co-presence (*i.e.*, the user feels as if other people were within the environment), and 3) interactivity (*i.e.*, the user feels as if they can manipulate, explore, or become apart of the environment). Thus, immersive VR (*i.e.*, accompanied by a headset otherwise referred to a head mount display [HMD]) can achieve and/or fulfill all of these factors, thereby meeting the criteria for an effective and user optimized 3D VR learning environment/experience.

Indeed, beyond immersion-dependent learning processes, an equally important instructional design feature of VR environments are the varying levels of interactivity that provide opportunities for how the user and their (in)actions can relate to how the users can manipulate the VR environment (Concannon et al., 2019). Some examples of interactivity are input devices that can include motion-sensing gloves, controllers or photo sensors that allow the user to see and use their hands within the VR environment (Concannon et al., 2019; Górski et al., 2017). Some VR environments also provide haptic (*i.e.*, tactile vibration-dependent sensory reception or proprioception) feedback or resistance to simulate an immersive sensory experience (Concannon et al., 2019; Górski et al., 2017). The amount of control that a user has within the VR environment can directly influence how “*real*” the experience is perceived and whether or not the user feels “*present*” within the VR environment (Concannon et al., 2019). Notably, how closely “the user’s actions, senses and thought processes...resemble those that would be experienced while in the same situation...in the real world” (Concannon et al., 2019, p. 4) is known as fidelity (*i.e.*, influence of believing the “*realness*” of such VR environments). It is imperative that the physical, functional, and psychological fidelity of the VR environments in which the users experience be examined separately to address where the instructional design and curricular content provide the most interactivity for the user to achieve an optimal and believable learning outcome (Concannon et al., 2019). This would promote the user’s perception of a high fidelity VR environment that would simulate real-world training and generalization. However, using such VR instructional design should be cautioned as it can be extremely expensive to

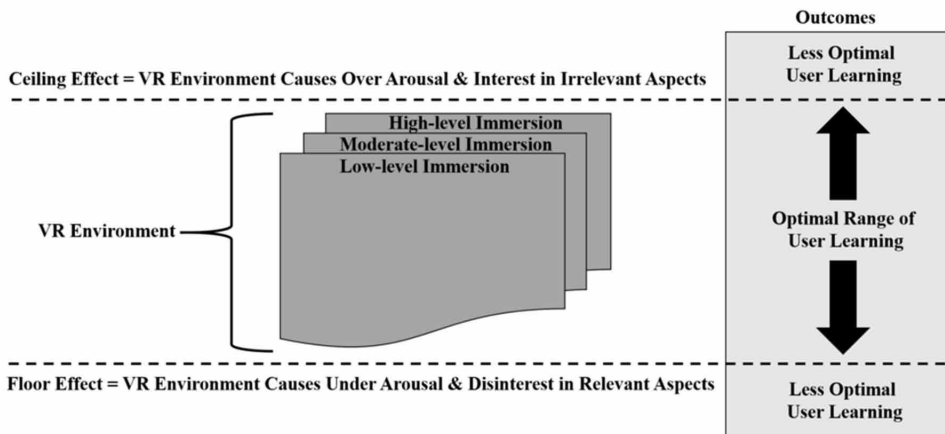
recreate 100% matched simulations to real-world events, may not be practical in some circumstances, and are not always required in order to reach the educational learning and training goals sought after.

DECIDING WHEN VR INSTRUCTIONAL DESIGN WOULD BE BENEFICIAL

Despite how luring VR environments might appear if they were to be used in an educational instructional design, educators should caution themselves as VR environments may be advantageous for some learning/training objectives, but may equally have pedagogical limitations. Thus, it is essential to understand both the benefits and challenges associated with using VR environments pedagogically, in order to understand the ceiling and floor effects of VR environments within the pedagogical context of instructional design (Fig. 1).

Despite the number of levels created within an immersive VR environment, the instructional designer must be cognizant of the practical limits in overwhelming the user with too many immersive aspects (*i.e.*, ceiling effect), and ensuring to provide just enough immersive aspects (*i.e.*, floor effect) to optimize the user’s attention and learning. Moreover, it is important to highlight that the immersive VR environment helps to reduce cognitive load and if too many pedagogical approaches are given at once, it may be counterproductive.

Figure 1. Instructional design concept map for understanding the ceiling and floor effects of an immersive VR environment
 © 2020, Ros & Neuwirth. Used with permission



By following this instructional design concept map, the outcome would be an immersive VR environment optimized for the user's education. This outcome could then maximize the user's learning benefits by reducing unnecessary distractions (Harrington et al., 2018), and overcome the user's learning obstacles by making the content just surpass the most minimal arousal levels. Further, this concept map would help overcome the inherent issues with VR environments where an instructional designer's vision must meet a user's adaptation to and ongoing engagement within the VR environment to develop an ideal pedagogical application for training/educational programs. Notably, these user benefits and challenges may differentially influence the instructional design and training objectives of VR environments. Górski et al. (2017) suggested that there were three distinct, yet different, levels within the educational medical VR environment applications: 1) general (*i.e.*, conceptual skills), 2) procedural (*i.e.*, behavioral/adaptive skills), and applied knowledge (*i.e.*, practical/generalization skills). **Figure 2** illustrates the conceptualized differences between the user's knowledge levels directly related to the instructional design variations are required to reduce any potential academic achievement gaps when constructing an effective VR environment for pedagogical applications (Górski et al., 2017).

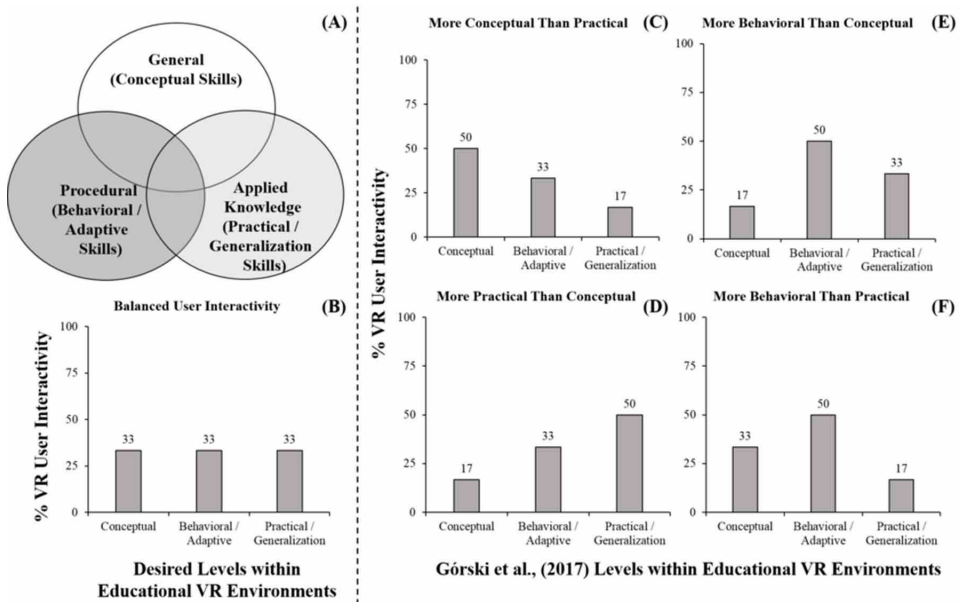
BENEFITS OF IMMERSIVE VR ENVIRONMENTS: ACCESSIBILITY, AUTONOMY & COST

Accessibility Within Immersive VR Environments

“Accessibility refers to the user's ability to find what is needed, when it is needed. Improved access to educational materials is crucial, as learning is often an unplanned experience.” (Ruiz, Mintzer & Leipzig, 2006, p. 208). Consistent with this quote, VR environments can allow users anywhere in the world to access the same training so long as they have access to the required technological devices to permit them to become immersed within the experience (Kamińska et al., 2019). Accessibility of an effective education is perhaps best captured by the following quote: “Learning is a deeply personal experience: we learn because we want to learn.” (Ruiz, Mintzer & Leipzig, 2006, p. 208). However, knowing the needs of the prepared and/or underprepared user is a critical factor in which their autonomy within an immersive VR environment may help to facilitate their learning and produce better educational outcomes, irrespective of the academic achievement gap.

Figure 2. Illustrates the conceptualized instructional design for the developing VR environments for ensuring optimal educational outcomes for the user based on the models proposed by Górski et al. (2017)

(A) displays the venn diagram of the Górski et al. (2017) model when the VR user’s experience is balanced in learning content across conceptual, behavioral/adaptive, and practical/generalization skills (B). Further, instructional designers should be aware to permit flexibility for the user to adapt within such VR educational environments whereby at time they may need more conceptual than practical skills (C), more practical than conceptual skills (D), more behavioral than conceptual skills (E), and more behavioral than practical skills (F). Permitting such flexibility may create more immersive VR environments with greater educational gains for the user.
 © 2020, Ros & Neuwirth. Used with permission.



Autonomy Within Immersive VR Environments

Beyond accessibility, VR environments differ in the degree of autonomy that individual users might experience when accessing the identical VR environments repeatedly over time. Some VR environments can be accessed and experienced by the user, while others require an instructor to set them up or run the experience for a single or group of prospective users (*i.e.*, shared VR experience), and lastly, some are designed to require other users to interact with the main user (*i.e.*, cooperative VR experience) within the VR environment to complete a single experience (Kamińska et al., 2019). Therefore, the degree of the user autonomy is directly influenced by the desired educational goals of the training and the instructional design of the VR environment, in turn, defining the user’s VR overall experience. However, identifying

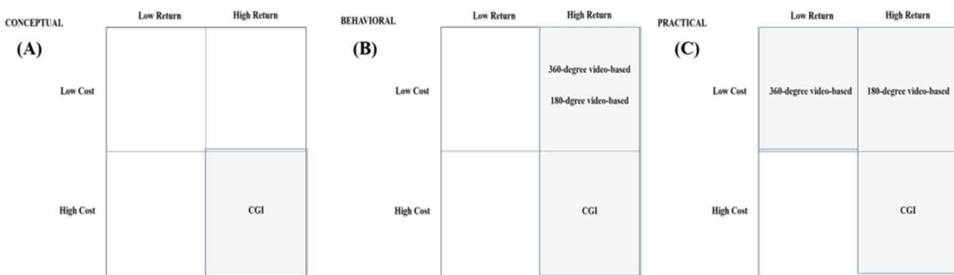
how much user autonomy is needed for the instructional design is a critical factor in determining the cost of developing immersive VR environments for pedagogical purposes.

Cost of Developing Immersive VR Environments

Monetary savings can be achieved over time when comparing the use of VR with 3D, 2D, and real models, as well as, tissues or patients (Górski et al., 2017). However, in the initial development stages of any technological tool, device, or software costs can be exorbitant. Because of these financial challenges in developing VR environments, a balance must be achieved between leveraging the expenses that go into developing the VR instructional curriculum and design, while maximizing the pedagogical/educational outcomes and detailing such cost comparisons for future research and development of VR experiences (Fig. 3). Such information can help future educational instructional designers of high-quality high-return investments compared to low-quality low-return investments when developing new VR environments for applied pedagogical instruction. Further, knowing such information may be essential in motivating and capturing the interest of users to seek engagement in VR environments within an educational context.

Figure 3. Probability squares of assessing cost and returns for developing effective applied learning technologies in VR Environments for conceptual (A), behavioral (B), and practical (C) instructional design

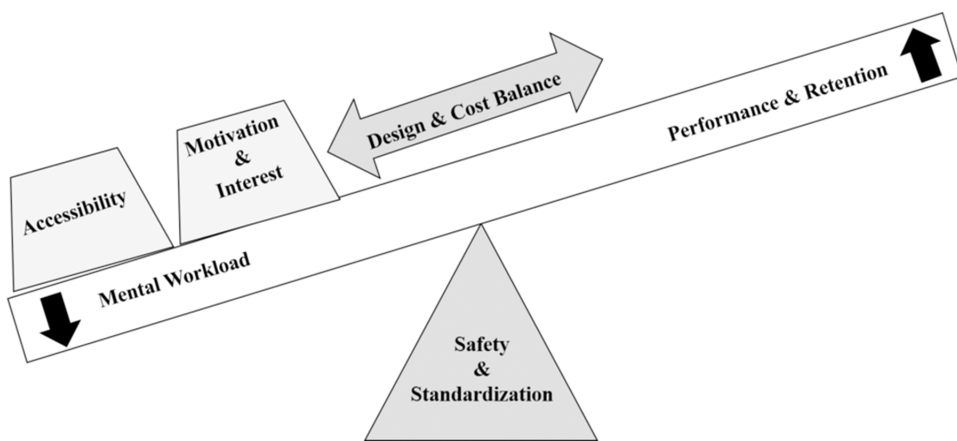
© 2020, Ros & Neuwirth. Used with permission



The ideal situation is to maximize high returns from the lowest cost across each of these three factors, but often times that may be less than ideal. Novel VR environments might require high cost to initially develop high returns and over time can be economically reassessed.

It is also imperative to understand how such a pedagogical immersive VR environment can transcend a wide-range of conceptual parameters to increase the user/learner’s ability to fully comprehend what is being presented to them (Fig. 4).

Figure 4. Illustrates a conceptual framework for designing the most optimal immersive VR environment across a number of factors (i.e., conceptual – CGI, practical – CGI, practical 180-degree vide-based, and behavioral 360-degree video based) as they would relate to low and high returns (i.e., the financial investments that go into creating the technological and the pedagogical gains achieved by the user/learner). © 2020, Ros & Neuwirth. Used with permission



Obtaining and Sustaining User Motivation and Interest Within Immersive VR Environments

The use of exploring VR environments in grade school curriculums (i.e., “VR field trips” in middle school students’ social studies) has been shown to increase educational motivation and interest (Kamińska et al., 2019). Further, studies focusing on the use of VR technology in different learning contexts supports the findings that learners are more engaged and self-report that they understand the content being taught better. These benefits may come from the lower “task-unrelated images or thoughts” (Harrington et al., 2018, p. 993) (i.e., improved attention) that are brought out through the immersive characteristic of these VR experiences. These findings are further supported by data showing that blinding students to the actual VR environments that they will be immersed into actually increases their focus upon entering the VR-environment. Harrington (2018) showed a significantly higher student level of engagement (i.e., 360 video-based instructional content) and the student’s

preferred it when compared to a 2D video of the same content. This might be a key factor that warrants further investigation in developing VR immersive environments that encapsulate meaningful engagement for the learner through depth perceptual processing and/or visual feedback, which is critical for transferable pedagogical outcomes in VR environments. Ultimately, this type of learning could positively influence student's preference for a VR curricular format over others that in turn, promotes an increase in student motivation and educational interest.

Ekstrand (2018) stated that VR prevented "*neurophobia*" (*i.e.*, a fear of learning neuroanatomy), which provided insight in expanding the pedagogical approach from just viewing content to include exposure and re-exposure of the same content to increase user acceptability of the information being presented/taught. Using Computer-Generated Imagery (CGI) to reconstruct the neuroanatomy among 175 students, of which, 94% were willing to have VR integrated in their educational curricula because it helped them to improve their understanding of the course content. Thus, students directly report that having a better understanding of educational content can be achieved through VR, and then having the luxury of going over it multiple times, can facilitate a self-regulated means of adapting to and desensitizing students to their own inherent fear(s) of learning neuroanatomy. This latter point is compelling as it provides invaluable insight into the utility of VR when the user can determine how frequent they would like to experience the course content. This could further provide the instructional designers to anticipate the learners with the ability to augment and adapt within the VR environments to increase their motivational and educational interests in response to uninteresting, aversive, or noxious educational content. Such insightfulness can help the instructional designers to create supportive VR environments that may best address their academic achievement gaps with course content that intimidates them such as neuroanatomy and other forms of biological dissection of tissues (*i.e.*, both human and non-human).

Further, "*neurophobia*" has been an emerging issue that can also deter students from entering the biological and medical science fields and may reduce future medical professionals in the science, technology, engineering, and mathematics (STEM) fields if left unaddressed (*For Review See* Neuwirth, Dacius, & Mukherji, 2018); yet, VR might be able to leverage this very issue in a responsible and ethical manner through creative instructional design of VR environments that combine exposure/re-exposure immersion levels that desensitize the user to content that they might find aversive. By providing the user with the control to regulate how much they would like to tolerate in becoming immersed in such VR content, this may actually decrease their mental workload and increase learning. Further, if the user can control the VR environment this may increase engagement from students who would otherwise view the material as aversive and mostly result in course attrition,

to follow through with the curriculum and perhaps continue to learn more content beyond the VR module.

Reduced Mental Workload Through Immersive VR Environments

Notably, VR can increase the user's motivation and interest, which makes it an attractive technology for integrating educational content with an immersive experience that is uniquely memorable. However, as with any attentional task, one's attention span and cognitive load can either be limited or limit how much information one attends to at a given moment in time (Feldon, 2007; Barrouillet, Bernardin, Portrat, Vergauwe & Camos, 2007; Oviatt, 2006). Unlike standard visual and attentional processing where humans are easily distracted by events, actions, objects, and movements within their visual field, VR headsets block out these competing peripheral and background distractors and increase the user to focus their attention on the foreground of the VR environment. The attention to the VR environment is also enhanced due to its novelty (Roussou, 2000). Thus, it can be argued that through these inherent features of VR, it may reduce the user's attentional load and free up more cognitive capacity stores for increasing skill acquisition and learning retention (Andersen, Mikkelsen, Konge, Cayé-Thomassen & Sørensen, 2016) to be freely available to become increasingly or fully immersed within the VR experience; thereby, facilitating the user's learning, memory, and post-educational outcomes.

Moreover, since VR also facilitates the first-person POV, this particular feature has also been suggested to further reduce the user's cognitive load to increase their learning capacity just by using the first-person POV. The first-person POV has been shown to improve the learning of new gestures. Mirror neurons are usually activated when the learner sees someone else performing a procedure. If this procedure is viewed from a first-person perspective, cognitive load is less important, and trainees are more able to replicate the procedure. (Fiorella, Van Gog, Hoogerheide & Mayer, 2017).

This latter point is critical as mirror neurons are the neurobiological/neuropsychological basis for empathy (Iacoboni, 2009), vicarious reinforcement, (Bandura, Ross & Ross, 1963), and more relevant to this VR context and enriched sense of learning that is validated by the user's brain responsivity to VR and their brain's ability to perceive the POV as being the user's own first-person experience. Thus, the first-person POV constitutes a powerful way in which 3D 180-degree stereoscopic VR experiences directly influencing the user's brain in ways that can optimize learning through VR environments that provide sound evidence that it can offer unique pedagogical benefits to the learner/user by improving their skill acquisition and memory retention.

Improved Learning Skill/Performance Acquisition and Memory Retention Through Immersive VR Environments

Several studies have begun to address the issues of learning performance and retention when using VR environments. In order to address this issue, the pedagogical designer's instructional plan must be comprised of a step-by-step approach that directly scaffolds the short-term learning objectives with the desired long-term learning outcomes of the curriculum. However, despite even the most well-defined and structured curriculum in VR, some difficulties might arise from the wide variety of and different intentions for how the VR environment was implemented within a given curriculum. Together, this begets the questions, which VR studies are consistent, reliable, and comparable in best addressing the issue of standardizing key factors for using VR in best pedagogical practices for educating the next generation learners. It may very well depend on the type of VR that is studied (*e.g.*, CGI, 360-degree video, 180-degree video, etc.), since the pedagogical objectives (*i.e.*, theoretical, procedural, practical knowledge, etc.) and what they are compared against (*e.g.*, books, videos, lecture, physical simulator, etc.) may be more important in capturing the user/learner's attention and sustaining their cognitive loads, while diminishing distractors to improve learning outcomes. Further, it has been shown that non-immersive VR can lead to improved educational performance (*i.e.*, less errors and reduced time to complete the task) in reproducing complex tasks, when compared to technical manuals and multi-media films. For simple tasks, there were no differences observed between non-immersive VR and multi-media films regarding the number of errors, but non-immersive VR did speed-up the time to complete tasks (Chao et al., 2017).

Another study by Smith (2018) aimed to compare computerized-images displayed between immersive VR, flat-screen VR, and written notes after having watched a video. They assessed the performance on a mannequin and measured their time to completion. The results showed that they failed to observe any short-term or mid-term (*i.e.*, 6 months follow up) differences between the groups, when compared to immersive VR. Surprisingly at mid-term, the non-immersive solutions produced significantly faster time to task completion when compared to baseline, but again without any significant difference between groups. Sheik-Ali (2019) mentioned that the speed to meet criteria is an important variable, but more importantly, in a surgical training context, the speed of surgical skill acquisition is arguably more important in order to become proficient enough to complete a later surgical task. They concluded that many studies have consistently shown a positive linear relationship between the use of VR/AR in surgical training and surgical skill acquisition, despite the tools used being rather different. To be clear, there is only one immersive VR tool, which uses hand-tracking instead of remotes. Regarding the influence of immersive

VR with CGI to complete a task, Smith et al. (2018) found no difference between the group using immersive VR and the group receiving conventional training. The authors further showed the same post-interventional outcomes with gradual improvements and lower retention scores at 6-months follow up. Thus, they stated that VR was at least as good as conventional training but did not surpass it. In a recent study, Andersen et al. (2018) showed that using VR with CGI for practical knowledge before a training course increased the benefits of the course and allowed the students to achieve better learning outcomes. They also showed that the more people were trained repeatedly in VR, the better their results were when compared to a single training of VR. This suggested that VR has additional educational gains influencing skills acquisition and memory retention through repeated exposures.

Regarding the theoretical knowledge and skill acquisition in healthcare, user-cases are similar to industrial cases: the possibility to enter a 3D reconstruction of a “*machine*” provides a better conceptual understanding. The possibility offered by VR to uniquely explore the educational content through an “*anatomy journey*” (*i.e.*, through VR moving through a biological organ to view new perspectives and connections within and across systems). Using a 3D CGI reconstruction of an organ, which is literally put in front of the learner to let the user artificially enter through and rotate this organ with intent that the user will become more familiar with the course content regarding knowledge of the organ. This way the user can explore the organ under every angle and have a better understanding of the different tissue layers and the relations between organs. Further, this experience offers the learner the ability to adopt a new perspective, that could not otherwise be achieved, without the VR environment. This finding is not only fascinating, but offers an endless range of new pedagogical possibilities. Therefore, VR is not only an entertaining way to learn new skills through technology, but it actually improves the learners “*visual field*” (*i.e.*, a VR-induced Proprioception) thereby expanding their understanding and approach to finding additional solutions to conventional learning problems. The exposure to these unique perceptual angles and vantage points is perhaps the largest advantage of using immersive VR environments over other forms of technology and conventional educational learning. Since these VR environments are based upon CGI that is directed by the theoretical knowledge underlying the course content, which are then aimed at increasing skill acquisition and retention of the content to be learned by the user. Concerning neuroanatomy, Ekstrand et al. (2018) found no difference in effectiveness between VR and textbooks as learning tools. However, they showed that VR prevented “*neurophobia*” among 175 students, and the authors stated that the results were encouraging. This may be perhaps due to the user being able to alter the imagery in the VR environment when compared to the fixed imagery presented by the textbook.

In cardiac anatomy, Maresky et al. (2018) found improvements in the user's results after learning through immersive VR environments. Thus, VR helps students to gain a better understanding of the organ itself, its structure-function relationships, its spatial connections, and its interfaces within systems biology, that can create a greater comprehensive understanding of the material within minutes in an immersive VR environment that would otherwise require reading hundreds of pages and weeks to months to achieve such understanding through conventional means. Another important feature is that VR environments in the biomedical fields help to overcome a real educational resource issue. Most dissections and surgical techniques are done in a time restricted and sample/organ tissue availability-dependent course (*i.e.*, the dissection or surgical laboratory). These laboratory courses require many students to shadow the instruction with little to no hands-on experience and often times result in less than optimal time viewing the actual procedure or details of the procedure that reduce the skills acquisition and applied learning of these concepts. Through VR environments, these learning gaps can be reconciled, improved, and even enhanced to prevent such learning gaps from occurring. These finding beg the question, how can immersive VR environment improve the user's learning retention? It is hypothesized that because immersive VR environments probably facilitate the user to understand better theoretical questions by being able to manipulate the structures/organs and understand how it works in a constructivist approach, or to acquire practical knowledge by being able to literally "*live in an educational experience*" and its different steps. Becoming fully aware, the user/learner has all what they need to gain a better understanding of the course content, which may then foster better skills acquisition and memory retention for generalization of applied learning. Altogether, the immersive VR environment may optimize the benefits of a lesson beyond convention pedagogical approaches, but would require standardization in order to accomplish this task.

Standardization of Immersive VR Environments

Similar to e-learning Ruiz et al. (2006) showed that the use of immersive VR environments standardizes the educational content and provides the same information and learning experience to all students, when compared to conventional learning. Further, the experience that is created in the immersive VR environment by the instructional designer and experienced by the user are equivalent to the teacher designing the curriculum and the student learning from the conventional educational experience. However, when an immersive VR environment is used for pedagogical purposes, this standardization may begin to exceed the expectations and expand the potential limits for the user/learner; albeit, still within a standardized curriculum/environment.

Safety of Immersive VR Environments

The immersive VR environment often allows the user to acquire the necessary training to do things that would otherwise be too dangerous (*i.e.*, an animal dissection, dissecting a brain, or human organ, calculating a drug dosage to give a patient, etc.) for most people to experience as a first time exposure within a real life situation (Concannon et al., 2019). Thus, such use of immersive VR environments can improve both the safety of the user/trainee/student as well as the individuals they might have to help post-training in real situations that are dangerous. Using a similar logic with respect to surgical education, the use of immersive VR environments can allow the user to acquire technical skills in a simulated environment without the possibility of harming patients (Concannon et al., 2019). This enhances the ethical component of the pedagogical approaches through immersive VR environments and further can increase the user/trainee's skills, confidence and decrease surgical risks that might otherwise occur in patients. Alternatively, immersive VR environments can be used for a situation that one specialist must know, and further through repetitious learning/exposure/re-exposure, it can help the younger students/professionals to be ready faster, which was one of the first immersive VR tutorials created by Revinax® (Ros et al., 2017). Moreover, immersive VR environments can help the user to face/experience situations that are rare, while increasing the user's readiness for real-life situations based upon their VR training. For example, Vankipuram (2014) developed an immersive VR simulator for resuscitation illustrating the utility of VR in this very generalizable translation of knowledge across VR to real-world contexts/environments. **Figure 5** below summarizes the overall instructional design goals for creative optimal immersive VR environments, in which the Revinax © model endorses and applies to their pedagogical framework for creating educational VR experiences with content that is learned faster, remembered more, and promotes skill acquisition and generalization from VR to real-world applications.

The goal is to balance the user's accessibility, cost, motivation and interest, amongst safety and standardization. The adaptive ability of the immersive VR environment should address decreasing the user's mental workload and increasing their performance and retention as a validity and reliability measure for successful pedagogical applications.

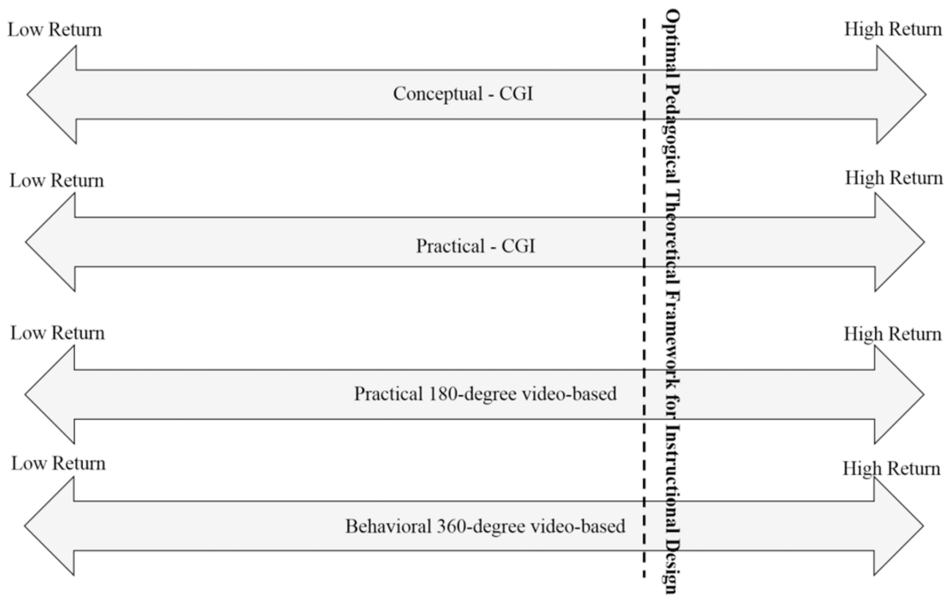
CONSIDERING SELF-REPORTED ADVERSE EFFECTS OF VR

Nausea and dizziness (*i.e.*, called VR sickness, motion sickness, simulator sickness and/or cyber sickness) can also occur for a temporary time-period when participants are immersed in the VR environment (Concannon et al., 2019; Kamińska et al.,

Virtual Reality Stereoscopic 180-Degree Video-Based Immersive Environments

Figure 5. illustrates the conceptual model for developing an optimal immersive VR environment

© 2020, Ros & Neuwirth. Used with permission.



2019). This occurs when participant's movement within the VR environment does not match their movement in the physical world (*i.e.*, a perceptual kinesthetic mismatch). Besides people who suffer from internal ear dysfunction, several factors can potentially contribute to experiencing sensations in VR that may result in this feeling. Consequently, the hardware used (*i.e.*, VR headset), the resolution quality of the VR displayed, and the refresh rate of the video frames captures, are among the main contributing factors for VR sickness. Alternatively, the quality of the content: frames per second, resolution, and movements can also contribute to VR sickness. Notably, VR sickness happens infrequently, but can occur in people who do not suffer from motion sickness, but is brought on by the novelty of the first time they are exposed to VR combined with feelings of nervousness due to the uncertainty of this new experience.

REVINAX® STEREOSCOPIC 180-DEGREE ENVIRONMENT

A Peculiar Instructional Design

The immersive VR environment that is typically created is often based upon either CGI or 360-degree video-based experiences. Additionally, CGI helps to recreate an environment and make an artificial environment seem more realistic to the user, whereas in contrast, 360-degree video-based experiences simply display real footage. Thus, CGI is interesting as it offers a unique platform in which to represent things that cannot be recorded and played back. Since CGI attracts much interest due to its full user interaction within the immersive VR environment, as a by-product, its pedagogical value becomes increasingly important. However, the main problem in developing immersive VR environments with such pedagogical value is that the cost to create this content is rather expensive (*i.e.*, additional design features and the more realistic the desired experience the more it will be expensive). Moreover, the time to create and deploy this high-value pedagogical immersive VR environment will still require hardware for it to be used in a dedicated/restricted area (*i.e.*, which are not totally standalone). The 360-degree video-based experiences can supplement the immersive VR environment by helping people to project/insert themselves within the VR content, context, and/or situation that is pedagogically designed by the instructor.

The user interaction comes from the unique experience (*i.e.*, perceived simulation of a first-person POV) and what is then captured by embedded questions or decision trees testing the users/learners comprehension of the task within the immersive VR environment as it appears on the movie through these 360-degree video-based displays. These videos are faster to produce than CGI, the content is intrinsically realistic (*i.e.*, as they are pre-recorded from real-life events) and it is therefore easier to deploy even outside of the traditional VR HMD. However, the problem arises in 360-degree video-based displays when the user is trying to learn how to complete a procedure (*i.e.*, practical knowledge), since they are not fully capable of positioning themselves within the first-person POV to activate their mirror neuron systems to fully immerse themselves within the VR pedagogical content as intended. Revinax® produced in 2014 a stereoscopic 180-degree 3D video-based recording of an actual surgical procedure in real-time and since 2015 has been dedicated to advancing and further developing this technology as a pedagogical tool based on user feedback. Revinax® accomplishes this by creating a tutorial that involves three steps: 1) the surgical procedure is recorded in 3D video-based format from the surgeon's point of view (*i.e.*, using the equipment worn by the surgeon performing the procedure in real-time); 2) the 3D movie is then organized into chapters corresponding to the different steps of the surgery (*i.e.*, with calibration and synchronization of the two

videos); and 3) clinical imaging and data are then incorporated into the tutorial to make it a pedagogical immersive VR environment.

Among the content created, the surgical video covering the medical procedures for carrying out an external ventricular drainage, was instrumental in allowing trainees/students to view the procedure from a first-person POV perspective with the following educational intervention-based goals: 1) enhancing their memorization, 2) increasing their understanding of and confidence in implementing the procedure, 3) minimizing error when conducting the procedure, and 4) ultimately the training/educational intervention would decrease both surgery risks and time in surgery. Trainees/students could also access other patient data that underwent the same procedure to help them draw comparative assessments, weigh out any other alternative risks and/or concerns that they might have in replicating the procedure, and increasing their reliability of the procedure to better understand the case study with deeper analytical, critical, and clinical thinking. Further, these resources were supplemented in the immersive VR environment with the patient's Computerized Tomography (CT) scan and an educational 3D model of the organ in which the surgery would occur. Taken together, this immersive VR environment in theory provides in a "*hands-free*" manner, virtual surgical, clinical, and educational resources that could be potentially be used in real-time within an operating room prior and during surgical interventions. However, it is also important to note that while in the operating room, the trainee/student/surgeon user could pause or replay the immersive VR 180-degree stereoscopic video-based intervention and view patient data, without actually making decisions to guide the surgery or actively influence their environment. The unique experience that Revinax® designed was, in this particular context to allow an immersive view of the surgery while allowing access to other patient information. The first-person POV allows the user to see themselves as if they were the actual surgeon performing the operation(s). In other experiences, Revinax® recorded simultaneously the first-person POV of different members of the surgical team. The ability to switch to other views allows the learner to envision what other members of the surgical team are doing at specific points within the surgery.

As described in Ros et al. (2017), when surveyed, a large majority of participants viewing the immersive VR environment tutorial saw the benefit of using it as a part of the teaching program and felt that it had a beneficial effect on their learning outcomes. One of the interesting results obtained from this study was that there were no age differences observed (*i.e.*, cohort was composed of a wide range of healthcare professionals from young students to old practitioners). Indeed, as this is a video-based environment, people may be familiar with the context. This helps to bridge and reduce/attempt to eliminate the technical gap, which can be perceived across real/VR environment and the academic achievement gap observed by students based on their learning styles (Neuwirth, Ebrahimi, Mukherji & Park, 2018; 2019)

and how redefining student diversity may further influence these outcomes across generations (Mukherji, Neuwirth & Limonic, 2017). Other studies have been launched, including more than 450 participants attempting to address these very issues at the core of modern learning and immersive VR environment integration as a powerful pedagogical tool. The first set of results have helped increase how to understand the place and/or setting in which using immersive VR environment would be most optimal for the learner within this environment. One way this was achieved was to assess the retrieval, reconsolidation, and retention of knowledge by comparing a group that read a technical note versus another group that had been exposed to the same technical note plus access to the immersive VR environment. Students who were trained with the immersive VR environment showed significantly better immediate memorization than students trained without the immersive VR environment. The same trend was observed (*i.e.*, without reaching significance) in the groups six months post-training. Another study aimed to assess hands-on training within immersive VR environment compared to another group who had a traditional lecture. The results showed that the immersive VR environment helped to speed up the time to complete the procedure. Interestingly, both groups had the same results while checking the items corresponding to the different steps of the procedure. This controlled for the key differences the users experience through the immersive VR environment. The outcomes showed that the lecture group performed better in answering theory-based questions prior to completing the procedure. One of the values of developing immersive VR environment tutorials are: the tutorial is affordable, easy to comprehend, and facilitates efficient learning; these benefits can help address the problems reported by the World Health Organization (WHO) (2015) concerning surgical training globally. Indeed, not everyone can afford to have access to a laboratory or an operating room with the highest caliber of technology, but a simulation training center may help to leverage the financial and practical problems surgeons face globally by expanding telemedicine through such applied VR pedagogical applications.

Challenges of Immersive VR Environments and How the Revinax® Model Addresses Them

Some VR hardware requires the trainer or educator to have specialized knowledge (Concannon et al., 2019), which can be a barrier to deploying the “full” VR experience. Some VR environments lack visual realism due to the limits of producing accurate graphics, while inaccurate or unrealistic details can further deviate away from the intended immersive VR experience; thereby, detracting the user from the believability of the immersive VR experience (Kamińska et al., 2019). As such, creating a more realistic environment can increase the cost of producing the VR experience or lead to

other restrictions such as limiting the interactivity of the VR experience (Kamińska et al., 2019). One of the reasons that Revinax® chose to use the 180-degree video-based immersive VR environment first-person POV experience was that trainers did not require much specialized knowledge to use the technology. Further, it also allows the user to create content that is intrinsically realistic and more familiar to the user. Thus, the users can adapt to the content easily, which may help to integrate it in a wide-range of educational training programs. Further, video-based immersive VR environments helps to decrease the price to create content, and is able to represent a wide range of situations as pedagogical context for instructional use. Although, there are various ways to create video, the first-person POV has been proven to be an important pedagogical tool with more efficiency over other video content. Finally, Revinax® has committed to make content available through easy deployment and provide users the choice of a cross-platform approach in order to deliver the content in a VR standalone headset along with smartphones.

INCORPORATING VR INTO A TRAINING PROGRAM

Changing an already existing training program or creating a new training program should always begin with a user needs assessment. During this assessment phase, multiple options for training delivery should be assessed and the decision to use immersive VR environments as part of the training program along with the justification should be documented. Although Concannon, Esmail & Roduta Roberts (2019) found a positive outcome for immersive VR environments in 35 out of 38 experiments they reviewed (*i.e.*, 92% efficacy rate), caution should be exercised as immersive VR environments is not the solution for every training problem nor should it be used just because it is an attractive technology. Regarding the theoretical knowledge, immersive VR environments can be used as mentioned for a conceptual/structural understanding. Likewise, the procedural and practical knowledge for immersive VR environments should be considered when the training problem that needs to be addressed is related to experiential training. Experiential Training corresponds to the fact the learner needs to live the situation, to understand, gain experiences and thus will be able to become proficient. How to define when experiential training is indicated? When it is only the fact to have lived the experiences, which allows the trainee to have a full understanding. When you wonder how to show people and you are thinking the best way would be to take everyone in that context to make them live the experience, experiential training is indicated. Although technology and learning pedagogies have developed considerably over the last 15 years, the approach that Ruiz, Mintzer & Leipzig (2006) provided helps the field to better understand the pedagogical value of incorporating different learning methods into

immersive VR environments. “Traditional instructor-centered teaching is yielding to a learner- centered model that puts learners in control of their own learning” (Ruiz et al., 2006, p. 207). Specifically, experiential learning and social constructivist learning theory accompanies the incorporation of immersive VR environments into any training program (Concannon et al., 2019). Adults learn better, when they are able to determine what they need to learn, explore the topics themselves, and then apply their knowledge actively. The autonomous and experiential nature of virtual reality makes it a good-fit with adult learning theory. Consistent with this approach, this is why Revinax® wanted to create a learner-centered experience in which the user feels being directly immersed within the middle of any immersive VR learning environment to have access to everything he or she needs surrounding them to enhance their learning.

Once it is determined that virtual reality should be used, it is important to define which kind of “VR” would be the best pedagogical and instructional method to answer the users’ training objectives: Through CGI – when the context cannot be represented for practical or for conceptual knowledge / 360-degree based-video display to understand a given context, can be considered procedural. In contrast, the 180-degree first-person POV for teaching practical or procedural content with the goal to be deployed at large scale. Of course, the cost of the content creation, its volume, the hardware used to deploy it, and the number of people who have to undergo the experience can increase the variability of the outcomes and the potential applied cross-applications of any given pedagogical VR intervention.. However, Górski et al. (2017) identified a sound methodology for building Knowledge-Oriented Medical Virtual Reality (KOMVR), which is a six-step process: 1) identification, 2) justification, 3) knowledge acquisition, 4) knowledge formalization, 5) application and 6) implementation. From such a pedagogical needs assessment, the educator can define the user group and what they want the learner to accomplish during the training. As such, the theoretical framework for the KOMVR maps directly onto the training objectives to facilitate a deeper level of knowledge and from there to produce a range of acquired skills that may be useful for theoretical, practical, procedural, yet generalizable behaviors with the intent for applied purposes, within the immersive VR environment and potentially the real-world.

The second stage of KOMVR is justification, which includes planning who should be a part of the development team, estimating the work hours, calculating hardware and software costs, obtaining funding or developing a business plan and assessing the project risks (Górski et al., 2017). During the development process, the immersive VR environmental experiences should be tested by a diverse group of potential users/stakeholders to obtain feedback relating to functionality, effectiveness and the capability that addresses whether or not the experience adds to the training program (Kamińska et al., 2019). This can be done with a combination of survey

questions targeting usability such as the System Usability Scale (Kamińska et al., 2019) and open questions to determine simple improvements that could enhance learning and the user experience. It is important to obtain feedback from a range of users as well as teachers and surgical experts in the field as the system and the experience will be viewed very differently by these groups.

CONCLUSION

The motivation and impetus to develop the immersive VR environment tutorial was brought on by the experiences users reported from the training program. Due to the practical limitations of shadowing surgeons within crowded operating rooms, the inherent set backs were the difficulty of medical professionals being allowed an appropriate/optimal view of the surgical and nursing procedures that would increase their pedagogical applications of what they learned via direct observation of every procedure. The surgeon “mentoring” via shadowing within the operating room happens with the trainees /medical professional assisting the mentor. Since the trainee/medical professional is usually shadowing beside, behind, or even facing the surgeon the learning/pedagogical vantage point/perspective may be a self-limiting variable within the pedagogical approaches in acquiring skill acquisition of the surgical technique under study. Even when the user can see accurately what the surgeon is doing via shadowing in real-time, they may not have the correct vantage point in order to acquire, consolidate, reconsolidate, and generalize the correct translational application of the surgical technique under study through natural observation means. Thus, the human brain has arguably some learning limitations through which it can optimally acquire information in which it may not fully/correctly memorize information in which it is presented. Further, the human brain can inadvertently make mistakes during the learning acquisition period, when the individual is tasked with attempting to (re)produce the surgical procedure from conceptual to practical generalizations. This is one explanation as to why it increases learning competency to acquire the skill acquisition procedures to reproduce these practical skills. Moreover, the observer through this shadowing/naturalistic observation methods may have learned something through the process, but due to the constraints of the human attention span and environmental distractors, how much is accurately learned in order to generalize and apply to practical application may be more limited than once thought. Thus, it poses the question, how can one address this inherent learning gap when trying to acquire new information during real-time surgical shadowing/observation (*i.e.*, which is what is conventionally considered the status quo)?

Additionally, through this comprehensive, yet conceptualize understanding of the limitations of shadowing and naturalistic observations, the present study proposes that it was not possible to provide/optimize these experiences to surgeons locally or abroad in other countries. A Lancet report (2015) for WHO stated that surgery should be considered as one of the top priority medical interventions for advancing global health. The catalyst for this is that five billion people globally do not have access to surgery. Further, to maintain this insufficient medical coverage, the surgical workforce (*i.e.*, not only surgeons, but inclusive of all medical health professionals participating in surgeries) needs to double by 2030 to address this very issue. Teaching people essential surgeries (across ~44 medical procedures) could save up to five millions lives per year. The theory behind this proposes the question, how then can we achieve that goal? The answer may lie at the interface of training people in remote areas with telemedicine through immersive VR environments from more advanced medical areas globally? From these immersive VR experiences, a global telemedicine workforce may be assembled to address these very issues. Further, to provide surgeons/surgical students and medical professionals with a portable/accessible tool, which can help them to have a better conceptual and translational understanding of a surgical procedure through immersive VR, may help to circumvent the pedagogical inherent issues in natural shadowing/observations through a more immersive VR environment as with the Revinax® model that addresses these issues to optimize the pedagogical outcomes of the surgeon/medical professional to increase future generations of biomedical educators in the field.

REFERENCES

- Aggarwal, R., Ward, J., Balasundaram, I., Sains, P., Athanasiou, T., & Darzi, A. (2007). Proving the effectiveness of virtual reality simulation for training in laparoscopic surgery. *Annals of Surgery*, *246*(5), 771–779. doi:10.1097/SLA.0b013e3180f61b09 PMID:17968168
- Aïm, F., Lonjon, G., Hannouche, D., & Nizard, R. (2016). Effectiveness of virtual reality training in orthopaedic surgery. *Arthroscopy*, *32*(1), 224–232. doi:10.1016/j.arthro.2015.07.023 PMID:26412672
- Alaker, M., Wynn, G. R., & Arulampalam, T. (2016). Virtual reality training in laparoscopic surgery: A systematic review & meta-analysis. *International Journal of Surgery*, *29*, 85–94. doi:10.1016/j.ijvs.2016.03.034 PMID:26992652

- Andersen, C., Winding, T. N., & Vesterby, M. S. (2010). Development of simulated arthroscopic skills. *Journal Acta Orthopaedica*, 82(1), 90–95. doi:10.3109/17453674.2011.552776 PMID:21281257
- Andersen, S. A. W., Foghsgaard, S., Cayé-Thomasen, P., & Sørensen, M. S. (2018). The effect of a distributed virtual reality simulation training program on dissection mastoidectomy performance. *Otology & Neurotology*, 39(10), 1277–1284. doi:10.1097/MAO.0000000000002031 PMID:30303946
- Anderson, S. A. W., Mikkelsen, P. T., Konge, L., Cayé-Thomasen, P., & Sørensen, M. S. (2016). Cognitive load in mastoidectomy skills training: Virtual reality simulation and traditional dissection compared. *Journal of Surgical Education*, 73(1), 45–50. doi:10.1016/j.jsurg.2015.09.010 PMID:26481267
- Bandura, A., Ross, D., & Ross, S. A. (1963). Vicarious reinforcement and imitative learning. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 67(6), 601–607. doi:10.1037/h0045550 PMID:14084769
- Barrouillet, P., Bernardin, S., Portrat, S., Vergauwe, E., & Camos, V. (2007). Time and cognitive load in working memory. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 33(3), 570–585. doi:10.1037/0278-7393.33.3.570 PMID:17470006
- Cates, C. U., Lönn, L., & Gallagher, A. G. (2016). Prospective, randomised and blinded comparison of proficiency-based progression full-physics virtual reality simulator training versus invasive vascular experience for learning carotid artery angiography by very experienced operators. *BMJ Simulation and Technology Enhanced Learning*, 2(1), 1–5. doi:10.1136/bmjstel-2015-000090
- Chao, C. J., Wu, S. Y., Yau, Y. J., Feng, W. Y., & Tseng, F. Y. (2017). Effects of three-dimensional virtual reality and traditional training methods on mental workload and training performance. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 27(4), 187–196. doi:10.1002/hfm.20702
- Concannon, B. J., Esmail, S., & Roduta Roberts, M. (2019). Head-Mounted Display Virtual Reality in Post-secondary Education and Skill Training. *Frontiers in Education*, 4(August), 1–23. doi:10.3389/educ.2019.00080
- Ekstrand, C., Jamal, A., Nguyen, R., Kudryk, A., Mann, J., & Mendez, I. (2018). Immersive and interactive virtual reality to improve learning and retention of neuroanatomy in medical students: A randomized controlled study. *CMAJ Open*, 6(1), E103–E109. doi:10.9778/cmajo.20170110 PMID:29510979

- Feldon, D. F. (2007). Cognitive load and classroom teaching: The double-edged sword of automaticity. *Educational Psychologist, 42*(3), 123–137. doi:10.1080/00461520701416173
- Fiorella, L., Van Gog, T., Hoogerheide, V., & Mayer, R. E. (2017). It's all a matter of perspective: Viewing first-person video modeling examples promotes learning of an assembly task. *Journal of Educational Psychology, 109*(5), 653–665. doi:10.1037/edu0000161
- Fowler, C. (2015). Virtual reality and learning: Where is the pedagogy? *British Journal of Educational Technology, 46*(2), 412–422. doi:10.1111/bjet.12135
- Górski, F., Bun, P., Wichniarek, R., Zawadzki, P., & Hamrol, A. (2017). Effective design of educational virtual reality applications for medicine using knowledge-engineering techniques. *Eurasia Journal of Mathematics. Science and Technology Education, 13*(2), 395–416. doi:10.12973/eurasia.2017.00623a
- Gurusamy, K., Aggarwal, R., Palanivelu, L., & Davidson, B. R. (2008). Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laproscopic surgery. *British Journal of Surgery, 95*(9), 1088–1097. doi:10.1002/bjs.6344 PMID:18690637
- Haque, S., & Srinivasan, S. (2006). A meta-analysis of the training effectiveness of virtual reality surgical simulators. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 10*(1), 51–58. doi:10.1109/TITB.2005.855529 PMID:16445249
- Iacoboni, M. (2009). Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annual Review of Psychology, 60*(1), 653–670. doi:10.1146/annurev.psych.60.110707.163604 PMID:18793090
- Izard, S. G., Juanes, J. A., García Peñalvo, F. J., Estella, J. M. G., Ledesma, M. J. S., & Ruisoto, P. (2018). Virtual reality as an educational and training tool for medicine. *Journal of Medical Systems, 42*(3), 1–5. doi:10.1007/10916-018-0900-2 PMID:29392522
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies, 23*(4), 1515–1529. doi:10.1007/10639-017-9676-0
- Kamińska, D., Sapiński, T., Wiak, S., Tikk, T., Haamer, R. E., Avots, E., ... Anbarjafari, G. (2019). Virtual reality and its applications in education: Survey. *Information (Switzerland), 10*(10), 1–20. doi:10.3390/info10100318

- Mandal, S. (2013). Brief introduction of virtual reality & its challenges. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(4), 304–309.
- Maresky, H. S., Oikonomou, A., & Ali, I. (2018). *Virtual reality and cardiac anatomy: Exploring immersive three-dimensional cardiac imaging, a pilot study in undergraduate medical anatomy education*. *Clin Anat N Y N*. doi:10.1002/ca.23292
- Meara, J. G., Leather, A. J. M., Hagander, L., Alkire, B. C., Alonso, N., Ameh, E. A., Bickler, S. W., Conteh, L., Dare, A. J., Davies, J., Mérisier, E. D., El-Halabi, S., Farmer, P. E., Gawande, A., Gillies, R., Greenberg, S. L. M., Grimes, C. E., Gruen, R. L., Ismail, E. A., ... Yip, W. (2015). Global Surgery 2030: Evidence and solutions for achieving health, welfare, and economic development. *Lancet*, 386(9993), 569–624. doi:10.1016/S0140-6736(15)60160-X PMID:25924834
- Mock, C. N., Donkor, P., Gawande, A., Jamison, D. T., Kruk, M. E., & Debas, H. T. (2018). Essential surgery: Key messages from Disease Control Priorities. *Lancet*, 391(10125), e11–e14. doi:10.1016/S0140-6736(15)60091-5 PMID:25662416
- Mukherji, B.R., Neuwirth, L.S., & Limonic. (2017, Apr.). Making the case for real diversity: Redefining underrepresented minority students in public universities. *Sage Open*, 1-10.
- Neuwirth, L. S., Dacius, T. F. Jr, & Mukherji, B. R. (2018). Teaching neuroanatomy through a historical context. *Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, 16(2), E26–E31. PMID:30057504
- Neuwirth, L. S., Ebrahimi, A., Mukherji, B. R., & Park, L. (2018). Addressing diverse college students and interdisciplinary learning experiences through online virtual laboratory instruction: A theoretical approach to error-based learning in biopsychology. In A. Ursyn (Ed.), *Visual approaches to cognitive education with technology integration* (pp. 283–303). IGI. doi:10.4018/978-1-5225-5332-8.ch012
- Neuwirth, L. S., Ebrahimi, A., Mukherji, B. R., & Park, L. (2019). Addressing diverse college students and interdisciplinary learning experiences through online virtual laboratory instruction: A theoretical approach to error-based learning in biopsychology. Hershey, PA: IGI. doi:10.4018/978-1-5225-8179-6.ch025
- Oviatt, S. (2006). Human-centered design meets cognitive load theory: Designing interfaces that help people think. *Proceedings of the 14th AMC International Conference on Multimedia*, 871-880.

- Ragan, E.D., Bowman, D.A., Kopper, R., Stinson, C., Scerbo, S. & McMahan, R.P. (2015). Effects of field of view and visual complexity on virtual reality training effectiveness for a visual scanning task. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 21(7), 794-807.
- Ros, M., & Neuwirth, L. S. (2020). Increasing global awareness of timely COVID-19 healthcare guidelines through FPV training tutorials: Portable public health crises teaching method. *Nurse Education Today*, 91(104479), 1–6. doi:10.1016/j.nedt.2020.104479
- Ros, M., Trives, J. V., & Lonjon, N. (2017). From stereoscopic recording to virtual reality headsets: Designing a new way to learn surgery. *Neuro-Chirurgie*, 63(1), 1–5. doi:10.1016/j.neuchi.2016.08.004 PMID:28233530
- Roussou, M. (2000). Immersive interactive virtual reality and informal education. *Proceedings of i3 Workshop on Interactive Learning Environments for Children*, 1-9.
- Ruiz, J. G., Mintzer, M. J., & Leipzig, R. M. (2006). The impact of e-learning in medical education. *Academic Medicine*, 81(3), 207–212. doi:10.1097/00001888-200603000-00002 PMID:16501260
- Sheik-Ali, S., Edgcombe, H., & Paton, C. (2019). Next-generation Virtual and Augmented Reality in Surgical Education: A Narrative Review. *Surgical Technology International*, 35, 27–35. PMID:31498872
- Smith, S. J., Farra, S. L., Ulrich, D. L., Hodgson, E., Nicely, S., & Mickle, A. (2018). Effectiveness of Two Varying Levels of Virtual Reality Simulation. *Nursing Education Perspectives*, 39(6), E10–E15. doi:10.1097/01.NEP.0000000000000369 PMID:30335708
- Sturm, L. P., Windsor, J. A., Cosman, P. H., Cregan, P., Hewett, P. J., & Maddern, G. J. (2008). A systematic review of skills transfer after surgical simulation training. *Annals of Surgery*, 248(2), 166–179. doi:10.1097/SLA.0b013e318176bf24 PMID:18650625
- Sutherland, J., Belec, J., Sheikh, A., Chepelev, L., Althobaity, W., Chow, B. J. W., Mitsouras, D., Christensen, A., Rybicki, F. J., & La Russa, D. J. (2019). Applying modern virtual and augmented reality technologies to medical images and models. *Journal of Digital Imaging*, 32(1), 38–53. doi:10.1007/10278-018-0122-7 PMID:30215180

Virtual Reality Stereoscopic 180-Degree Video-Based Immersive Environments

Van Gog, T., Paas, F., Marcus, N., Ayres, P., & Sweller, J. (2009). The mirror neuron system and observational learning: Implications for the effectiveness of dynamic visualizations. *Educational Psychology Review*, 21(1), 21–30. doi:10.1007/10648-008-9094-3

Vankipuram, A., Khanal, P., Ashby, A., Vankipuram, M., Gupta, A., DrummGurnee, D., Josey, K., & Smith, M. (2014). Design and development of a virtual reality simulator for advanced cardiac life support training. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 18(4), 1478–1484. doi:10.1109/JBHI.2013.2285102 PMID:24122608

Vaughan, N., Dubey, V. N., Wainwright, T. W., & Middleton, R. G. (2016). A review of virtual reality based training simulators for orthopaedic surgery. *Medical Engineering & Physics*, 38(2), 59–71. doi:10.1016/j.medengphy.2015.11.021 PMID:26751581

RÉSUMÉ : La présente thèse est le fruit de six travaux publiés. Sont présentés les résultats d'utilisation du tutoriel immersif en Réalité Virtuelle. Cet outil pédagogique est le fruit de la combinaison d'un point de vue filmé à la première personne (FPV) projeté en Réalité Virtuelle (VR), avec des données interactives, afin de former les étudiants et les professionnels de santé. Le but étant de vivre l'expérience depuis un point de vue à la première personne et d'optimiser l'apprentissage expérientiel en "apprenant au travers des yeux de l'expert". L'utilisation de cet outil diminue la charge cognitive des apprenants tout en augmentant leur engagement. Nous avons montré qu'indépendamment de l'âge, le tutoriel immersif permet une meilleure compréhension ainsi qu'un gain de confiance des utilisateurs. Il en résulte une meilleure restitution de données d'ordres pratiques que ce soit lors d'une épreuve de questions/réponses ou lors de la généralisation d'une procédure au monde réel. Celle-ci est alors réalisée plus rapidement, avec moins d'erreurs. L'intervention d'un enseignant reste nécessaire pour l'apport des données d'ordre théoriques. Par ailleurs, le contenu peut être créé rapidement, à moindre coût, et déployé à grande échelle. Cet outil, employé justement, se révèle efficient et prometteur pour contribuer au niveau international à optimiser la formation de ceux nécessitant un apprentissage expérientiel, à commencer par les professionnels de santé : il permet d'accélérer la formation tout en réduisant les erreurs pratiques.

L'utilisation adaptée sur le plan pédagogique de la VR avec un FPV basée sur un socle théorique constructiviste améliore l'apprentissage des chirurgiens. La VR immersive conceptualisée, produite et testée dans cette thèse permet de vivre un apprentissage expérientiel dans un modèle de santé complexe nécessaire à la diminution des erreurs médicales.

Les différents supports de projection de ce contenu depuis le casque de Réalité Virtuelle (formation pratique), l'ordinateur (présentation par un enseignant), le téléphone portable (rafraichissement), puis les lunettes de réalité augmentée (assistance per-procédurale) laisse entrevoir la possibilité d'un continuum pédagogique véritable compagnonnage, et même accompagnement, digital.