Favoriser l'apprentissage de la traversée d'un passage piéton pour des jeunes avec une déficience intellectuelle grâce à la réalité virtuelle - Étude de faisabilité

Training road crossing skills for young people with intellectual disabilities using virtual reality - A feasibility study

Robin Cherix
University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Fribourg, Switzerland
robin.cherix@hefr.ch

Francesco Carrino
University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Fribourg, Switzerland
Genevieve.Pierart@hefr.ch

Geneviève Piérart
University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Fribourg, Switzerland
francesco.carrino@hefr.ch

Omar Abou Khaled
University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Fribourg, Switzerland
Omar.AbouKhaled@hefr.ch

Elena Mugellini
University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Fribourg, Switzerland
Elena.Mugellini@hefr.ch

Dominique Wunderle
University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Fribourg, Switzerland
Dominique.Wunderle@hefr.ch

ABSTRACT

Virtual Reality (VR) has three main advantages: allowing safe simulations, experimenting different conditions for the same scenario, and providing the perfect replicability of the scenarios. We present a feasibility study on the use of VR and VR immersive headsets to assist young adults (10-18) with intellectual disabilities in learning new skills. We focused on the scenario of a pedestrian crossing without traffic lights, and we considered several environmental conditions (day/night, weather, kindness of drivers, etc.). Our study is not limited to young people with autism spectrum disorder but takes into account young adults with intellectual disability with an associated disorder. 15 young people participated in the study showing a very good acceptability of immersive headsets and a noticeable learning effect already after a short training session. However, a longer and more extensive study is needed to evaluate the transfer of learning to reality.

CCS CONCEPTS

•Human-centered computing → User studies; Virtual reality; Virtual worlds training simulations.

KEYWORDS

Virtual reality, children and young adults, intellectual disability, simulation, pedestrian crossing

RÉSUMÉ

La réalité virtuelle (VR) a trois avantages : simuler en toute sécurité, proposer différentes conditions pour une action identique et rejouer un scénario de manière contrôlée. Nous présentons une étude de faisabilité concernant l'utilisation de la VR (casques immersifs) pour accompagner dans l'apprentissage de nouvelles compétences des jeunes adultes (10-18) avec une déficience intellectuelle (DI). Nous nous focalisons sur le scénario d'un passage piéton, en considérant plusieurs conditions environnementales (jour/nuit, gentillesse des conducteurs, etc.). Notre étude ne se limite pas aux jeunes avec trouble du spectre de l'autisme mais prend en compte les 10-18 ans ayant une DI avec un trouble associé. 15 jeunes ont participé à l'étude en montrant une bonne acceptabilité du casque immersif et un effet d'apprentissage déjà après une courte session d'entrainement. Une étude plus étendue et de longue durée est nécessaire pour évaluer le transfert de l'apprentissage dans la réalité.

MOTS CLÉS

Réalité virtuelle, enfants et adolescents, déficience intellectuelle, simulation, passage piétons

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than the ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from permissions@acm.org.
IHM'19, December 10–13, 2019, Grenoble, France
© 2019 Association for Computing Machinery.
ACM ISBN 978-1-4503-7026-4/19/12. . . $15.00
https://doi.org/10.1145/3366550.3372252

1 INTRODUCTION

L'autodétermination d'une personne a été définie comme « les habiletés et les attitudes requises chez une personne lui permettant d'agir directement sur sa vie en effectuant librement des choix non influencés par des agents externes indus » [1]. Les mineurs et jeunes adultes ayant une déficience intellectuelle (DI) ont généralement les capacités d'avoir un contrôle personnel sur leurs événements de vie, mais celle-ci est souvent sous-estimée. En raison de la DI, ils ont souvent besoin de plus de temps et d'opportunité pour s'engager dans des processus de réalisation de comportements autodéterminés [2, 3]. La DI peut en effet entrainer des difficultés sur le plan de l'autonomie (capacité à exécuter des tâches complexes sans dépendre de manière excessive de l'entourage) et de l'autorégulation (aptitude à évaluer ses propres conduites et à les réorienter si nécessaire). Compte-tenu de ces difficultés, l'entourage des personnes avec DI a tendance à se montrer surprotecteur, réduisant les opportunités d'apprentissage [2].

Pour les travailleurs sociaux qui accompagnent ces jeunes dans l'acquisition de compétences leur permettant de s'autodéterminer, il s'agit de développer plusieurs stratégies et supports didactiques dans le cadre d'un programme d'apprentissage. Cette population est très hétérogène du point de vue des difficultés et des ressources personnelles. Ceci exige donc de mettre sur pied un programme individuel qui s'adapte aux besoins spécifiques de chaque jeune. Cela est d'autant plus important que certaines caractéristiques de la DI peuvent influencer la capacité des jeunes à identifier et à se soustraire à des influences externes indues : les études sur la motivation ont montré [3] que les personnes avec une DI ont davantage tendance que les personnes sans déficience à être dirigées de l'extérieur (c.-à-d. à se fier à des indices externes pour résoudre des problèmes difficiles ou ambigus plutôt que d'utiliser leurs propres ressources cognitives) et montrent une dépendance accrue aux renforcements sociaux. Elles se trouvent donc davantage exposées que la population tout-venant à des risques d'abus. Il ne s'agit cependant pas d'une attitude innée : ces spécificités motivationnelles découlent d'une intériorisation des attitudes de l'entourage, souvent surprotecteur, qui réduisent les comportements exploratoires du jeune enfant avec une DI. L'autonomie et l'autorégulation, qui sont des composantes de l'autodétermination, peuvent donc s'apprendre tout au long de la vie [4].

Se déplacer en dehors de son lieu de vie de manière indépendante fait appel à des compétences complexes ; cela exige notamment que le jeune avec DI sache marcher le long d'un trottoir, traverser un passage piéton avec ou sans feu, prendre le bus et gérer des interactions avec d'autres personnes [5]. Strauss et al. ont montré qu'en Californie, dans la période 1981-1995, les personnes ayant une déficience développementale et vivant en semi-indépendance avaient un risque deux fois plus élevé d'être impliquées dans un accident de piétons que les personnes vivant en institution [6]. Les jeunes avec DI ont donc besoin, pour acquérir ces compétences et avoir confiance en eux, de pratiquer plusieurs fois les comportements à apprendre en étant accompagnés ; ils doivent également pouvoir effectuer les exercices dans différentes conditions (temps ensoleillé, pluvieux, de jour/de nuit, etc.).

C'est pourquoi il parait nécessaire de leur proposer une mise en situation qui leur permette d'expérimenter un acte de la vie quotidienne de manière sécure tout en prenant en compte leurs difficultés pour réaliser l'action (p. ex. s'engager sur un passage piéton, quel comportement adopter si l'on manque le bon arrêt, comment gérer des conversations avec des inconnus, etc.). Ce type de situations est difficile à recréer sans faire courir des risques réels aux apprenants et parce que cela nécessite beaucoup de disponibilité de la part des professionnels pour aller sur le terrain dans les différentes conditions (jour/nuit, soleil/pluie, etc.). Les nouvelles technologies, comme la réalité virtuelle (VR), pourraient permettre de simuler certaines conditions en toute sécurité et donc être utilisées pour « entrainer » le jeune avant de le confronter aux mêmes situations dans la vie réelle.

La réalité virtuelle constitue une modalité encore peu répandue pour accompagner les jeunes en situation de handicap dans l'apprentissage. Pourtant, elle s'avère un outil impactant, utile pour tester des scénarios difficiles à tester dans la réalité (car dangereux et/ou coûteux). Le présent article présente les résultats d'une étude exploratoire interdisciplinaire dont l'objectif est d'évaluer la faisabilité de l'utilisation de la réalité virtuelle (casque immersif) comme outil d'apprentissage pour des jeunes avec DI, avec un focus particulier sur le scénario du passage piétons. La technologie des casques immersifs a été retenue en vue d'exploiter les capacités d'immersion offertes par les dernières générations de cet outil, qui est d'autant plus intéressant que son coût restreint et sa portabilité le rendent très accessible.

Cet article est structuré comme suit : la Section 2 présente l'état de l'art avec un focus particulier sur l'utilisation de la VR pour des personnes avec DI ; la Section 3 décrit la méthodologie du projet ; la Section 4 illustre les

résultats de l'étude de faisabilité ; en Section 5, nous discutons les résultats obtenus ; la Section 6 conclue l'article et présente les perspectives futures.

2 ÉTAT DE L'ART

Depuis plusieurs années, des recherches ont étudié l'utilisation de la VR pour la réhabilitation de personnes avec DI. En 2005, Standen and Brown [7] ont présenté une revue de la littérature mettant en évidence comment la VR peut être utilisée comme outil d'intervention et/ou d'évaluation. Dans leur analyse, ils indiquent trois champs d'application : promouvoir les compétences pour une vie autonome, améliorer les performances cognitives et améliorer les compétences sociales. En ce qui concerne l'autonomie, ils avaient analysé quelques travaux qui se focalisaient sur des cas très concrets comme : faire les courses, cuisiner, s'orienter, développer des compétences de fabrication manuelle et des tâches autour de la sécurité (comme traverser un passage piéton). Les auteurs affirment que, en dehors des études avec des personnes atteintes de trouble du spectre de l'autisme (TSA), ces premières expériences montraient la possibilité d'un transfert de l'apprentissage du virtuel au réel.

En 2015, Freina et Ott [8] proposent une nouvelle revue de la littérature concernant l'utilisation de la VR dans l'éducation en général. Dans leur analyse, ils se focalisent sur les travaux publiés au cours de la période 2014-2015 et qui utilisent la VR de manière immersive et donc utilisant un système de type CAVE (Cave Automatic Virtual Environments) ou un casque immersif (comme l'Oculus Rift1). Les auteurs affirment que depuis 2005, un nombre très limité de travaux ont étudié la VR pour l'accompagnement de l'apprentissage de personnes avec DI en citant uniquement deux travaux ciblant des enfants avec TSA.

Yannick Courbois et ses collègues ont publié plusieurs travaux entre 2010 et 2015 s'intéressant à l'apprentissage de nouvelles routes, raccourcis et de navigation pour enfants ou adultes atteints par le syndrome de Down et/ou le syndrome de Williams dans des environnements virtuels [9-12]. Dans leurs travaux, la VR était utilisée principalement comme un outil d'évaluation de l'apprentissage sans étudier le transfert de cet apprentissage dans la réalité. La plupart de leurs travaux ont quand même montré que les individus atteints de DI sont capables d'apprendre à s'orienter en VR, mais que le développement de ces capacités est atypique si on les compare à des individus neurotypiques du même âge.

Concernant l'apprentissage de la tâche de traversée d'un passage piéton en VR, dans [13], les auteurs investiguent les différences entre adolescents atteints de trouble du déficit de l'attention et un groupe de contrôle. L'étude montre que la VR permet de trouver des différences significatives entre les deux groupes et, en outre, les auteurs affirment que la VR pourrait être utilisée pour identifier et éduquer les personnes les plus exposées au risque d'être impliquées dans des situations dangereuses.

Dans [14], les auteurs ont spécifiquement cherché à déterminer si les enfants atteints de TSA sont capables d'acquérir grâce à la VR les compétences nécessaires pour traverser un passage piéton en toute sécurité et d'évaluer dans quelle mesure ces compétences sont transférées à la vie réelle. Pour leurs tests avec 6 enfants, ils ont utilisé un système non-immersif basé sur une sorte de simulation 3D affichée sur un écran. Les résultats ont montré que les enfants atteints de TSA étaient capables d'apprendre en VR et ils ont mis en évidence une amélioration substantielle de la capacité des enfants à traverser la route virtuelle en toute sécurité après une intervention. La moitié des participants ont aussi considérablement amélioré leur comportement de piéton dans le monde réel après l'intervention en VR. Considérant le nombre limité des participants, les résultats semblent indiquer que la réalité virtuelle pourrait être utilisée aussi dans l'apprentissage des enfants atteints de TSA.

Un travail plus récent (2015) a aussi investigué un scénario similaire (toujours avec 6 enfants atteints de TSA) mais en utilisant un environnement immersif de type CAVE [15]. Les résultats ont montré que la plupart des enfants (4 sur 6) ont pu atteindre l'objectif d'apprentissage

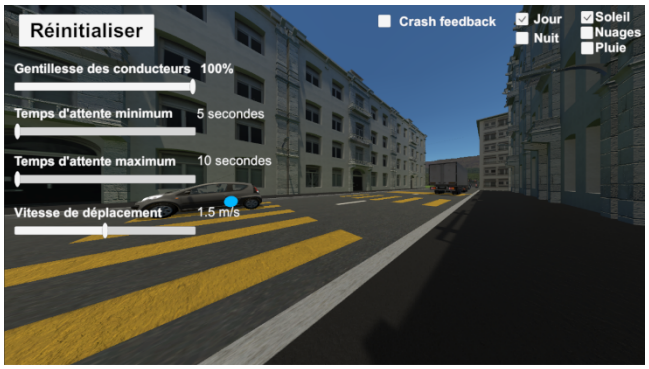

Figure 1. Point de vue externe de la simulation avec paramètres de contrôles. Le point bleu indique ce qui est regardé par l'utilisateur.

[1] https://www.oculus.com

souhaité. Ceci a été vérifié à la fin de la période de 4 jours en faisant traverser aux enfants un passage piétons dans le monde réel. Les auteurs remarquent que ces résultats sont encourageants pour les enfants eux-mêmes, car ils ressentaient d'avoir réussi, et pour leurs parents, parce qu'ils se sentaient fiers de la performance de leurs enfants, alors qu'au départ ils étaient sceptiques.

Toujours en 2015, une autre étude menée avec 7 adultes atteints de TSA a montré des résultats plutôt différents [16]. Leur protocole de traitement comprenait dix séances de 45 minutes (une séance par semaine) en VR mais la VR n'était pas immersive (les participants avaient devant eux un large écran de 2 m x 2 m). Les six sujets ayant complété le protocole (un a été exclu en raison de problèmes de perception de la profondeur) ont facilement appris les simples gestes du corps nécessaires pour interagir avec l'environnement virtuel. Par contre, même si au cours des sessions, les participants ont considérablement amélioré leurs performances de navigation (c.-à-d. la compréhension du système de contrôle, le temps nécessaire pour accomplir une tâche, etc.), ils n'ont pas réduit de manière significative les erreurs commises lors de la traversée du passage piétons et, dans le questionnaire de test, ils ne présentaient aucune réduction significative du nombre d'erreurs.

Pour résumer, les études existantes qui concernent l'utilisation de la VR pour l'apprentissage de nouvelles capacités montrent des conclusions encourageantes. Toutefois, la plupart de ces études se focalisent sur un groupe très spécifique de participants (souvent atteints de TSA) et le nombre limité de participants aux études et des résultats parfois contradictoires montrent le besoin des recherches supplémentaires. En outre, au meilleur de notre connaissance, aucune étude n'a encore investigué l'acceptabilité de la VR basée sur un casque immersif avec des jeunes adultes avec DI (10-18).

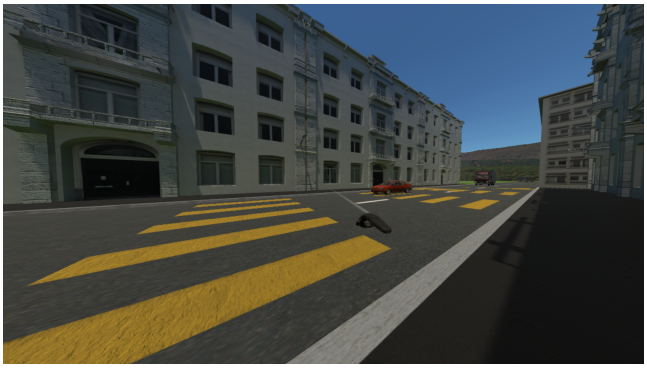

Figure 3. Point de vue du participant dans la simulation.

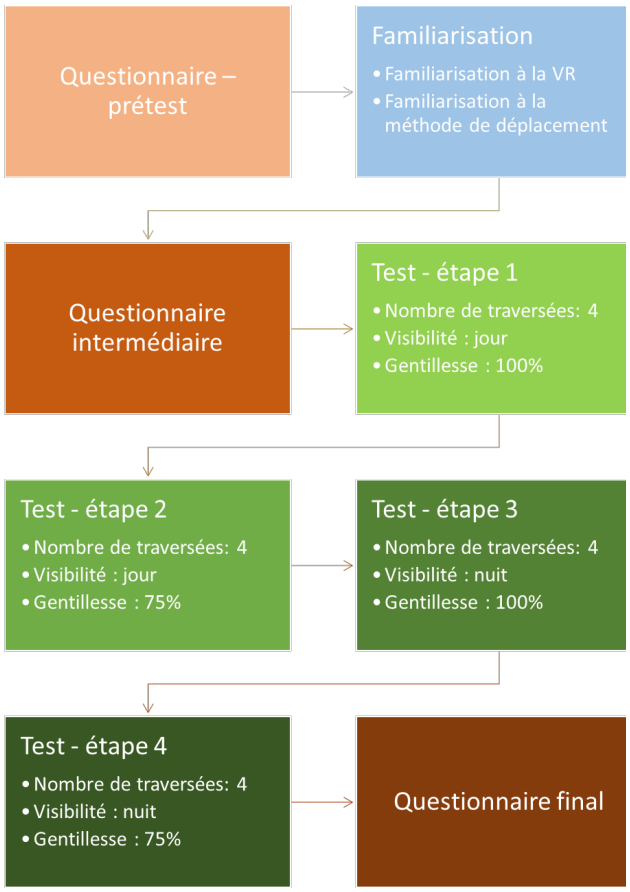

Figure 2. Schéma du protocole de test. Si le participant pouvait être perturbé par le passage entre le jour et la nuit, l'ordre est celui montré par l'image ci-dessus. Autrement, l'ordre des étapes « Test » 2-4 est aléatoire.

3 MÉTHODOLOGIE

Dans cette section, nous allons expliquer d'abord le scénario en VR que notre team interdisciplinaire a développé en se focalisant sur les besoins de jeunes adultes (10-18) avec DI légère ou modérée. Dans une deuxième partie, nous allons décrire plus en détail le protocole de test suivi pendant l'expérience et les mesures objectives et subjectives considérées. La description exacte des profils des sujets qui ont participé aux tests sera fournie dans la Section 4.

Scénario

La scène en VR dans laquelle l'utilisateur performe le test est composée d'une route entourée de bâtiments, d'un trottoir de chaque côté et de quatre passages piétons que l'utilisateur doit traverser. L'utilisateur se déplace à l'aide d'une manette qu'il pointe dans la direction qu'il souhaite prendre et en maintenant un bouton appuyé pour avancer.

Pour rendre plus claire la direction du mouvement, un « bâton virtuel » a été ajouté à la reproduction en VR de la manette (voir Figure 1). Les véhicules s'arrêtent lorsque l'utilisateur montre qu'il veut traverser. Pour cela, il faut qu'il soit assez près du bord de la route, face au passage piéton et sa manette doit être perpendiculaire à la route, avec un certain degré de tolérance.

Le scénario est développé sur Unity pour un casque HTC Vive équipé d'un eye tracking (oculométrie) Tobii.

Cinq paramètres peuvent être modifiés au cours de l'expérience afin de diversifier le scénario. Premièrement, il y a les conditions météorologiques avec trois possibilités : beau temps, nuageux et pluvieux, ainsi que la possibilité de faire le scénario de jour ou de nuit. Le deuxième concerne la gentillesse des conducteurs qui peut également être changée.

Ce paramètre détermine les chances que les conducteurs s'arrêtent pour laisser passer le piéton qui attend de traverser (par exemple, une valeur de gentillesse de 75% indique que chaque voiture a une probabilité de 25% de ne pas laisser la priorité aux piétons). A ce moment-là, un troisième paramètre entre en compte : le temps que les conducteurs vont laisser au piéton pour s'engager sur la route. Celui-ci est déterminé par le temps minimal et maximal d'attente (la valeur effective est prise au hasard dans un intervalle défini par ces deux paramètres). Le quatrième paramètre concerne la vitesse de déplacement qui peut être modifiée pour s'adapter à l'utilisateur. Par exemple, si l'utilisateur ne se sent pas bien, réduire la vitesse de déplacement permet de diminuer la contradiction entre la vue, qui perçoit du mouvement, et l'oreille interne qui n'en perçoit pas ; cela diminue le risque de cinétose (c'est-à-dire le « mal des transports », qui se présente dans une situation de discordance entre le système vestibulaire et la perception visuelle [17]). Pour la même raison, le déplacement est fait de manière à ce que l'utilisateur ait l'impression de « glisser » sur le terrain. Ceci évite les mouvements ondulatoires typiques de la marche, qui peuvent être cause de cinétose. Le dernier paramètre permet d'activer un feedback visuel et sonore lors d'une collision entre l'utilisateur et une voiture afin d'avoir un signal fort indiquant que quelque chose s'est mal passé.

Tous les paramètres évoqués ne sont pas visibles dans le casque de VR mais uniquement sur l'écran de l'ordinateur qui fait tourner la simulation (voir Figure 2). Ainsi, une personne en charge de la supervision technique de l'expérience peut y accéder et au besoin les modifier (par exemple, pour passer d'un niveau de difficulté au suivant en respectant le protocole de test).

Afin de réduire la variabilité des conditions de test, pendant l'expérience décrite dans cet article, seuls les paramètres de visibilité (jour/nuit) et de gentillesse des conducteurs ont été modulés. Tous les autres paramètres ont été fixés *a priori* sur la base de pré-tests réalisés avec six jeunes neurotypiques (pour plus des détails sur le protocole de test, voir la prochaine section).

Le eye tracking dont est équipé le casque permet d'afficher la direction du regard de l'utilisateur dans le but d'analyser son attitude vis-à-vis du trafic, en particulier l'attention qu'il porte aux véhicules avant de s'engager sur la route (« les a-t-il regardés ou non ? »). Le regard est affiché sous la forme d'un cercle bleu. Comme pour les paramètres, cette indication du regard est uniquement visible de l'extérieur de la simulation (Figure 2). En outre, à chaque pas de la simulation (frame), le système permet d'enregistrer le type et l'ID de l'objets « touchés » par le regard de l'utilisateur (p. ex. car_01 ou bicycle_03) et le point exact touché par le regard par rapport à son origine. Le système enregistre aussi la position de la tête de l'utilisateur dans la simulation et la position de tous les véhicules. Cela permet de reconstruire entièrement le déroulement d'une expérience pour une analyse a posteriori.

Afin de récolter des données qualitatives sur l'expérience, il a été demandé aux jeunes de compléter un questionnaire à trois reprises. Ce questionnaire a été adapté en FALC (Facile à Lire et à Comprendre, langage simplifié développé spécifiquement pour les personnes avec une DI[2]) et complété par des pictogrammes (ceux-ci permettent aux jeunes ayant des difficultés, voire étant dans l'impossibilité de s'exprimer verbalement de répondre au questionnaire le plus fidèlement possible). Ce support a été élaboré avec des travailleurs sociaux partenaires du projet et connaissant bien les jeunes concernés.

En plus des questionnaires, les déplacements, les mouvements de tête et la position du regard du participant ainsi que le déplacement des véhicules ont été enregistrés afin de pouvoir être rejoués à des fins d'analyse.

[2] https://www.inclusion-europe.eu/easy-to-read/

Protocole de test

L'expérimentation se déroulait en présence de trois personnes de l'équipe de recherche : un informaticien et deux autres travailleurs sociaux. Un travailleur social était là pour accompagner le jeune durant l'expérience selon ses besoins (explications, guidance, encouragement oral, etc.), tandis que l'informaticien et le second travailleur social réalisaient l'observation.

Le protocole de test est divisé en plusieurs phases qui permettent de récolter des informations avant, pendant et après l'expérience, de mettre le participant à l'aise avec la VR et performer les tests de manière contrôlée. La Figure 2 présente une schématisation du protocole de test détaillé ci-dessous.

Avant l'expérience, le jeune peut demander à être accompagné par un éducateur s'il ne se sent pas à l'aise de rester seul avec l'équipe. Celle-ci est composée d'un technicien qui se charge de vérifier que la simulation fonctionne bien et de deux observateurs : un qui surveille les actions dans la simulation et l'autre qui observe les réactions verbales et non-verbales du jeune.

Durant l'expérience, l'utilisateur est assis sur une chaise ajustable en hauteur, tournante et sans roulettes (voir Figure 4). Celle-ci permet de s'assurer que le jeune ne tombe pas en cas de perte d'équilibre. Ceci pourrait arriver en position debout. Cette chaise est placée entre deux capteurs servant au suivi de position du casque de VR et des manettes. L'espace délimité par les capteurs fait $4m^2$ au minimum.

L'expérience commence avec une phase de familiarisation afin de mettre l'utilisateur à l'aise avec le matériel et de l'habituer aux interactions en VR. Cette phase commence avec un jeu. L'utilisateur peut choisir entre une expérience de bulles musicales ou un match d'air hockey. Dans le premier jeu, l'utilisateur doit percer des bulles à l'aide de la manette. En explosant, celles-ci créent une note de musique dont la hauteur dépend de la position de la bulle dans l'espace. L'air hockey est un jeu similaire au hockey où l'utilisateur doit pousser un palet dans les buts de l'adversaire.

La durée de cette première étape de familiarisation varie d'un participant à l'autre jusqu'à un maximum de 15 minutes. Une fois terminée, étape, l'utilisateur doit ensuite apprendre à se déplacer avec les contrôles de l'expérience principale. Pour cela, il est placé dans une scène similaire à l'expérience principale mais sans aucun véhicule. Il doit alors se déplacer jusqu'à un passage piéton puis le traverser. Cette deuxième étape continue jusqu'à ce que le participant soit capable de se déplacer en VR.

Figure 4. Utilisateur lors de l'expérience.

L'expérience principale se passe en quatre séries de tests. A chacune d'entre elles, le participant doit traverser quatre fois la route sur le passage piéton pour un total de seize traversées. Les séries se distinguent par leurs conditions environnementales, plus précisément la gentillesse des conducteurs, en condition diurne et nocturne. Les pourcentages possibles pour la gentillesse sont : 100% (les conducteurs s'arrêtent systématiquement) et 75% (les conducteurs s'arrêtent trois fois sur quatre). Ces situations ont soit lieu de jour ou de nuit. La première série se passe toujours de jour avec le paramètre gentillesse à 100%. L'ordre des trois séries suivantes dépend de la capacité du participant à supporter un changement jour/nuit plusieurs fois (cette capacité est estimé par les accompagnateurs qui connaissent le participant). S'il est estimé que cela le perturberait au détriment de l'expérience, alors les séries 2 à 4 sont : gentillesse 75%/jour, puis gentillesse 100%/nuit et gentillesse 75%/nuit. Sinon, l'ordre des séries 2 à 4 sont tirées aux hasards. La gentillesse des conducteurs n'est pas annoncée aux participants.

Une pause est proposée au participant entre chacune des séries.

Avant de commencer l'expérience, un premier questionnaire analyse la capacité du participant à traverser la route de manière autonome dans la vie de tous les jours et son expérience avec la technologie en générale puis plus précisément la réalité virtuelle. Les réponses sont récoltées auprès du participant mais également auprès de l'éducateur

accompagnant, s'il y en a un, et des parents ou curateurs du participant par le biais du formulaire de consentement qu'ils ont dû remplir avant l'expérience (ceci était aussi l'occasion de bien expliquer au préalable les objectifs de l'étude).

Pendant l'expérience, des notes sur l'attitude du participant sont prises. Un formulaire structuré a été utilisé pour aider les observateurs à prendre des notes pendant l'expérience. Ces notes concernent des aspects :

- techniques : mettre le casque a été compliqué ; il y a eu des problèmes dans le simulateur ; les câbles ont dérangé le participant.
- de compréhension : le participant a eu de la peine à comprendre les tâches à accomplir ; il regarde les voitures à gauche et à droite avant de traverser.
- émotionnels : le participant a dû être rassuré à plusieurs reprises ; il a bénéficié de quels types d'accompagnement et avec quelle fréquence ; il a accepté de porter le casque ; quelles sont les réactions verbales et non-verbales observées.

Après la phase de familiarisation et à la fin de l'expérience, des questions sont posées au participant oralement et à l'aide des pictogrammes sur son ressenti au niveau :

- physiologique : il a eu mal au ventre ; mal aux yeux ; mal à la tête ; le casque était gênant.
- de l'apprentissage : le participant pense avoir appris quelque chose.
- émotionnel : il a ressenti de la peur, surprise ou joie ; il a trouvé facile de traverser la route ; il a trouvé la simulation réaliste.

4 RESULTATS

L'expérience a été menée 18 fois auprès de 15 jeunes dont 3 ont participé deux fois avec 5 mois d'intervalle. Cette deuxième participation avait pour but d'observer l'impact qu'avait eu la première expérience et quel souvenir les jeunes en avaient. Seuls trois jeunes ont pu refaire l'expérience à cause des contraintes du calendrier scolaire. Le plus jeune avait 9 ans et le plus âgé 18 pour une moyenne de 13,8 ans. Le groupe est composé de 4 filles et 11 garçons. Tous les 15 participants ont une DI, certains ont d'autres troubles associés, dont 5 ont des troubles du spectre de l'autisme. Il n'est pas possible de fournir des informations plus précises concernant la sévérité de la DI des participants car, en Suisse, un diagnostic précis est posé uniquement à partir de 18 ans. Nous nous sommes basés sur l'expérience des accompagnateurs pour recruter des participants avec une DI de légère à moyenne.

Concernant leur capacité de traverser la route avant l'expérience, les accompagnateurs et les parents ont fourni un score entre 1 (le participant sait traverser le passage) et 5 (le participant ne sait pas du tout traverser le passage). Nos participants avaient un score moyen de 4.12.

Sur ces 18 expériences, 10 ont pu être menées intégralement, 1 a dû être interrompue pour cause de malaise lié à la réalité virtuelle (cinétose), 1 a dû être raccourcie par compréhension trop faible de l'exercice. Quatre participants n'ont pas pu faire l'expérience par incompréhension totale de l'expérience et 2 n'ont pas souhaité faire l'expérience. Pour avoir une estimation des performances des participants, nous avons mesuré le temps nécessaire pour compléter une série de 4 traversées de route et le temps d'attente moyen avant de s'engager sur le passage piéton ainsi que le nombre de fois que l'utilisateur entrait en collision avec un véhicule. En ce qui concerne le temps pour compléter une série de traversées, il diminue constamment au cours de l'expérience et ce, quelles que soient les conditions environnementales (jour, nuit). En moyenne, le temps nécessaire passe de 136 secondes pour compléter la première série à 101 secondes pour la quatrième (voir Figure 5).

Le temps d'attente moyen avant de s'engager sur le passage piéton diminue globalement de série en série et diminue ou reste stable lors d'une même série, à l'exception notable d'un participant qui a beaucoup attendu lors du 3ème passage de la 4ème série.

Sur les 175 passages effectués lors de l'expérience, 3 ont abouti à une collision avec un véhicule. Aucun utilisateur n'est entré en collision plus d'une fois.

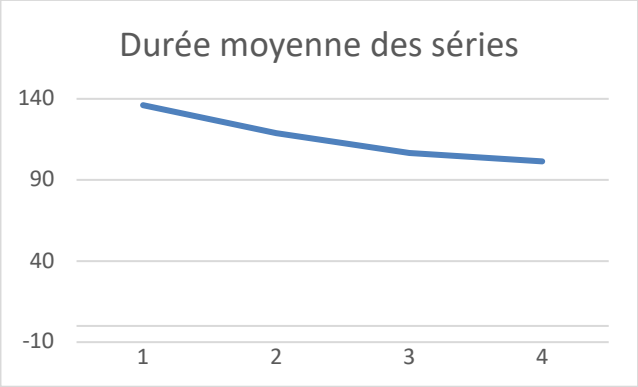

Figure 5. Durée moyenne des séries.

5 DISCUSSION

Ces premiers résultats sont encourageants et démontrent la faisabilité de notre approche. La majorité des participants (10 sur 15) ont rapidement compris le but de l'expérience, comment se déplacer dans l'environnement virtuel et ce qu'ils devaient faire pour atteindre l'objectif. Dans un cas, nous avons dû répéter ces concepts à plusieurs reprises et dans un autre cas nous avons dû légèrement adapter notre vocabulaire (par exemple, utiliser « passage à zèbre » plutôt que « passage piétons »). Les participants n'ont pas été gênés par le matériel (casque et câbles) à l'exception d'une participante qui a trouvé le casque lourd mais qui a tout de même mené l'expérience jusqu'au bout. La simulation s'est montrée suffisamment réaliste pour que les jeunes s'immergent rapidement dans l'environnement virtuel. Trois participants ont décrit l'expérience comme réelle voire très réelle ; 6 ont dit qu'elle ressemble plutôt à un jeu ; les autres participants n'ont pas su s'exprimer à ce sujet. Certaines réactions spontanées ont été observées (3 participants) comme le fait de remercier avec la main les conducteurs qui s'arrêtaient ou s'énerver contre ceux qui ne les laissaient pas passer.

En ce qui concerne le *eye tracking*, il a été utile pour mieux comprendre l'attitude des jeunes vis-à-vis de la circulation. Dans un cas, celui-ci a pu montrer que le jeune regarde correctement le trafic avant de s'engager, ce qui a rassuré les parents et les éducateurs et les a motivés à laisser au jeune plus d'autonomie. Par la suite, des analyses plus approfondies pourront être effectuées afin de mesurer le temps et la durée d'observation des véhicules par les participants et les comparer aux mesures de participants neurotypiques. Toutefois, ce n'était pas le but de cette étude.

Bien que les expériences menées jusqu'à maintenant aient montré une bonne acceptabilité de la réalité virtuelle auprès des jeunes avec DI (11 sur 15 participants ont manifesté de l'intérêt à répéter l'expérience ou un autre jeu en VR), des études plus approfondies sont nécessaires. Pour pouvoir se prononcer sur la capacité de transfert de connaissances acquises dans un environnement virtuel vers la réalité, il est nécessaire de répéter les expériences de manière régulière, sur un groupe d'utilisateurs plus large et sur une période de temps suffisamment longue. Cela permettra aussi de discerner si l'amélioration des performances est due aux compétences relatives à la traversée de rue ou à un progrès dans la maîtrise de l'outil. L'évaluation initiale, continue et finale de l'apprentissage, y compris dans le transfert et la généralisation des comportements appris, pourra être évalué au moyen des PCU (protocoles à cas unique) [18].

Les trois jeunes ayant participé deux fois à l'expérience à 5 mois d'intervalle ont clairement montré qu'ils s'en souvenaient. L'un d'eux a d'ailleurs refusé de participer à nouveau car il avait gardé un mauvais souvenir de sa première participation. Bien qu'ils aient gardé un souvenir de leur expérience, cette deuxième participation n'a pas permis d'affirmer ou d'infirmer un quelconque transfert de connaissance qui soit observable dans la simulation. Toutefois, l'éducateur d'un des jeunes a précisé qu'il avait senti chez le jeune une plus grande assurance ayant mené à une meilleure autonomie à la suite de sa première expérience.

Sur les trois jeunes étant entrés en collision avec un véhicule, deux ont montré de la surprise et de la peur lors de la collision. Par la suite, ils se sont montrés plus prudents et attentifs à leur environnement. Le troisième a réagi plus violemment et a retiré le casque immédiatement après la collision. À la suite de cela, il a accepté de s'entraîner sans véhicules circulant sur la route. Ces réactions montrent selon nous la capacité de cette population à s'immerger dans un environnement virtuel, peut-être au-delà de ce qu'ils communiquent ou pensent.

Étant donné l'hétérogénéité du public cible, il faudra réaliser des scénarios plus flexibles adaptés aux besoins spécifiques de chacun (idéalement, capables de s'adapter presque au cas par cas). Ceci pourrait être fait en développant des fonctionnalités à la demande d'une institution ou d'une école spécialisée (par exemple, lorsque nous avons introduit un retour visuel et sonore en cas de collision avec une voiture), voire en ajoutant des scénarios complètement nouveaux pour permettre l'apprentissage de nouvelles situations.

6 CONCUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons présenté une étude préliminaire qui visait à étudier la faisabilité de l'utilisation de la VR et, en particulier, des casques immersifs pour accompagner dans l'apprentissage de jeunes adultes avec DI. Les résultats sont encourageants : ils montrent l'acceptabilité de cette technologie et un effet d'apprentissage en VR pour cette population. La prochaine étape sera d'intégrer la VR de manière régulière à un programme d'apprentissage défini en début d'année scolaire. Par exemple, en utilisant des protocoles expérimentaux à cas unique nous pourrons mesurer l'efficacité d'une intervention visant à enrichir le répertoire

comportemental d'une personne pourrons mesurer l'apprentissage fait en VR et son transfert dans la réalité. Du point de vue de l'utilisabilité, le système actuel nécessite la présence d'un technicien lors des expériences pour le mettre en place et pour s'assurer de son bon fonctionnement tout au long de l'expérience. Cela pourrait être amélioré par la suite en utilisant des dispositifs pour la VR plus simple à mettre en place. L'interface côté éducateur pourrait être également améliorée afin de simplifier les réglages des simulations et améliorer le suivi de l'apprentissage. Il s'agira également de développer une interface adaptée aux éducateurs et enseignants spécialisés pour une utilisation plus aisée. Elle devra être conçue et développée pour simplifier la mise en place et la prise en main du système ainsi que les déroulements des séances d'apprentissage (une piste intéressante à investiguer pourrait être l'utilisation de dispositifs sans fils).

Pour conclure, nous parlons de « simulation » plutôt que de « jeux sérieux » ou « ludification ». Ce choix a été fait pour éviter de donner l'impression que la simulation ne soit qu'un jeu et, donc, sans conséquences dans la vie réelle ou avec un transfert vers le réel plus difficile à saisir. Plus précisément, les éducateurs craignent que cette population n'ait davantage de difficulté à transférer les apprentissages vers la réalité si on introduit dans la simulation des éléments ludiques qui ne se retrouveront pas dans le monde réel. Toutefois, en prévoyant des sessions d'apprentissage plus longues et/ou répétées dans le temps, il sera important d'étudier l'impact de ces outils pour soutenir la motivation de cette population et les effets sur l'apprentissage et son transfert vers la réalité.

REMERCIEMENTS

Les auteurs aimeraient remercier les directeurs, enseignants et éducateurs des six structures partenaires pour leur accueil et leur soutien. Les auteurs aimeraient remercier aussi Mme Leite Alves de Sousa, Mme Masozera, Mme Meystre, M. Patoureau, et Mme Ziegenhagen, étudiant-e-s de la Haute Ecole en Travail Social de Fribourg qui ont contribué au développement et à la mise en place des outils de ce projet.

RÉFÉRENCES

[1] Deanna J. Sands and Michael L. Wehmeyer. 1996. *Self-determination across the life span: Independence and choice for people with disabilities.* Brookes Publishing Company.

[2] Jean-Charles Juhel. 2012. La personne ayant une déficience intellectuelle: découvrir, comprendre, intervenir. *Presses de l'Université Laval.*

[3] Denise Normand-Guérette. 2012. Stimuler le potentiel d'apprentissage des enfants et adolescents ayant besoin de soutien. *PUQ.*

[4] Marc J. Tassé and Diane Morin. 2003. *La déficience intellectuelle.* G. Morin éd., 2003.

[5] Emily K. Farran, Yannick Courbois, Jo Van Herwegen, and Mark Blades. 2012. How useful are landmarks when learning a route in a virtual environment? Evidence from typical development and Williams syndrome. *Journal of Experimental Child Psychology 111, no. 4*: 571-586.

[6] David Strauss, Robert Shavelle, Terence W. Anderson, and Alfred Baumeister. 1998. External causes of death among persons with developmental disability: the effect of residential placement. *American Journal of Epidemiology 147, no. 9*: 855-862.

[7] Penny J. Standen and David J. Brown. 2005. Virtual reality in the rehabilitation of people with intellectual disabilities. *Cyberpsychology & behavior* 8.3: 272-282.

[8] Laura Freina and Michela Ott. 2015. A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives. *The International Scientific Conference eLearning and Software for Education.* Vol. 1. " Carol I" National Defence University, 2015.

[9] Hursula Mengue-Topio et al. 2011. Route learning and shortcut performance in adults with intellectual disability: A study with virtual environments. *Research in developmental disabilities* 32.1: 345-352.

[10] Emily K. Farran et al. 2012. How useful are landmarks when learning a route in a virtual environment? Evidence from typical development and Williams syndrome. Journal of Experimental Child Psychology 111.4: 571-586.

[11] Yannick Courbois et al. 2013. Wayfinding behaviour in Down syndrome: A study with virtual environments. *Research in Developmental Disabilities* 34.5: 1825-1831.

[12] Harry RM Purser et al. 2015. The development of route learning in Down syndrome, Williams syndrome and typical development: investigations with virtual environments. *Developmental science* 18.4: 599-613.

[13] Tamera A. Clancy, Julia J. Rucklidge, and Dean Owen. 2006. Road-crossing safety in virtual reality: A comparison of adolescents with and without ADHD. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology* 35.2: 203-215.

[14] Naomi Josman et al. 2008. Effectiveness of virtual reality for teaching street-crossing skills to children and adolescents with autism. *International Journal on Disability and Human Development* 7.1: 49-56.

[15] Aimilia Tzanavari et al. 2015. Effectiveness of an Immersive Virtual Environment (CAVE) for teaching pedestrian crossing to children with PDD-NOS. *2015 IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies.*

[16] Mario Saiano et al. 2015. Natural interfaces and virtual environments for the acquisition of street crossing and path following skills in adults with Autism Spectrum Disorders: a feasibility study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 12.1: 17.

[17] Shupak Avi and Carlos R. Gordon. 2006. Motion sickness: advances in pathogenesis, prediction, prevention, and treatment. *Aviation, space, and environmental medicine 77, no. 12: 1213-1223*

[18] Geneviève Petitpierre and Jean-Luc Lambert. 2012. Les protocoles expérimentaux à cas unique dans le champ des déficiences intellectuelles. Méthodes de recherche dans le champ de la déficience intellectuelle. *Nouvelles postures et nouvelles modalités: 57-102.*