

# L'apport de la réalité virtuelle à l'intervention cognitive chez les personnes atteintes de maladies neurodégénératives ou à risque

## *The contribution of virtual reality to cognitive intervention for individuals with neurodegenerative disease or at risk*

Arnaud Boujut<sup>1</sup>,  
Benjamin Boller<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal, Canada

<sup>2</sup> Département de psychologie, Université du Québec, 3351, bd des Forges, Trois-Rivières, G8Z 4M3 Québec, Canada  
<benjamin.boller@uqtr.ca>

Pour citer cet article : Boujut A, Boller B. L'apport de la réalité virtuelle à l'intervention cognitive chez les personnes atteintes de maladies neurodégénératives ou à risque. *Rev Neuropsychol* 2022 ; 14(2): 99-107. doi:10.1684/nrp.2022.0709

### Résumé

La réalité virtuelle, en facilitant la création d'environnements simulés proche de la vie quotidienne, a rendu possible l'évaluation et l'entraînement des capacités cognitives en situation écologique. Les études chez les patients atteints d'une maladie neurodégénératives ou à risque montrent généralement une amélioration des performances cognitives à la suite des interventions cognitives en réalité virtuelle. Le sentiment de présence et la sensation d'immersion seraient de nature à moduler les effets de l'entraînement. Un important défi réside dans la difficulté à traduire ces effets de l'entraînement en réalité virtuelle sous la forme de bénéfices fonctionnels dans la vie quotidienne de ces patients. La réalité virtuelle pourrait être utilisée pour promouvoir et mesurer le transfert des bénéfices cognitifs générés à la suite des interventions au niveau de la capacité à réaliser des activités proches de la vie quotidienne. Les perspectives de développement futures dont, notamment, l'apport des outils de neuro-imagerie aux interventions cognitives en réalité virtuelle seront présentées.

**Mots clés :** réalité virtuelle • intervention cognitive • entraînement cognitif • maladie d'Alzheimer • trouble cognitif léger

### Abstract

Using virtual reality, it is now possible to create simulated environments that closely mimic everyday life. It thus allows us to assess and train cognitive abilities by adopting an ecological perspective. Studies in patients with neurodegenerative diseases or at risk generally show improved cognitive performance following virtual reality-based cognitive intervention. The sense of presence and the feeling of immersion are likely to modulate training effects. A major challenge lies in the difficulty of translating training effects into functional benefits in daily life. Virtual reality could be used to promote and measure transfer effects in close to daily life cognitive ability. Perspectives for future development, including the contribution of neuroimaging tools to virtual reality-based cognitive intervention, will be presented.

**Key words:** virtual reality • cognitive intervention • cognitive training • Alzheimer's disease • mild cognitive impairment

**Correspondance :**  
B. Boller

Avec l'avènement des nouvelles technologies au cours de ces dernières années, les activités d'évaluation et d'intervention en neuropsychologie se sont considérablement enrichies. Parmi ces technologies, la réalité virtuelle, en facilitant la création d'environnements simulés proche de la vie quotidienne, a rendu possible l'évaluation et l'entraînement des capacités cognitives en situation écologique. Notamment, cette technologie est intéressante pour l'évaluation et l'intervention cognitives en raison de sa capacité à simuler des environnements naturels tout en permettant de contrôler les conditions de façon expérimentale. À l'heure actuelle, les outils d'évaluation des capacités cognitives et de prise en charge disponibles permettent difficilement d'inférer le fonctionnement de l'individu au quotidien ou de l'entraîner pour améliorer son fonctionnement au niveau de la réalisation des activités de la vie quotidienne qui serait devenue problématique. Les interventions cognitives sont généralement loin des situations de la vie de tous les jours, réalisées lors de séances d'entraînement individuel dans un environnement calme et non distrayant. De ce fait, le transfert des effets de l'entraînement aux situations dans la vie quotidienne reste limité. La réalité virtuelle est une technologie qui pourrait aider à augmenter la validité écologique des évaluations et des interventions cognitives. En immergeant l'utilisateur dans un environnement virtuel dynamique, cette technologie rend possible la réalisation d'activités cognitives et sensorimotrices ainsi que la possibilité d'interagir avec une diversité considérable de stimuli virtuels. La réalité virtuelle offre l'opportunité de créer des environnements reproduisant les caractéristiques sensorielles du monde réel tout en intégrant les exigences cognitives et physiques des situations auxquelles les individus sont confrontés dans leur vie quotidienne. Ainsi, cette technologie offre de nouvelles opportunités pour évaluer l'intégrité du fonctionnement cognitif en utilisant notamment des contextes plus représentatifs de la vie quotidienne et présente un grand potentiel pour déterminer si les interventions cognitives ont un effet sur le fonctionnement cognitif dans la vie quotidienne, ce qui représente aujourd'hui un défi majeur pour les études interventionnelles. Étant donné la prévalence des troubles cognitifs dans les maladies neurodégénératives, le caractère progressif de l'altération des capacités cognitives et les répercussions sur l'autonomie fonctionnelle de la personne au quotidien, les patients atteints de ces maladies, et notamment ceux atteints de la maladie d'Alzheimer représentent une population toute désignée pour bénéficier de l'intégration de la réalité virtuelle aux programmes d'intervention.

Dans une première partie, nous présenterons les défis liés à l'utilisation de la réalité virtuelle en neuropsychologie. Nous continuerons en présentant un survol des tâches qui ont été développées pour évaluer les capacités cognitives à l'aide de la réalité virtuelle. Nous poursuivrons en présentant les études qui ont appliqué cette technologie à des programmes d'intervention cognitive. Puis, nous discuterons

des enjeux méthodologiques pour mettre en évidence le transfert des bénéfices observés après une intervention sur le fonctionnement cognitif au quotidien. Nous terminerons par une discussion sur les perspectives de développement futures dont, notamment, l'apport de la neuro-imagerie aux interventions cognitives en réalité virtuelle.

### ■ Les défis de l'utilisation de la réalité virtuelle

Le développement de tâches d'évaluation et d'entraînement de la cognition dans des environnements virtuels est relativement récent. De nombreuses contraintes technologiques ont limité la faisabilité et la validité écologique des tous premiers outils développés. L'un des enjeux majeurs dans le développement d'outils en réalité virtuelle est de favoriser la sensation de présence de l'utilisateur dans l'environnement virtuel. Ce phénomène est appelé sentiment de présence. Il est défini comme l'expérience subjective d'être à un endroit tout en étant physiquement à un autre. Il est mesuré à l'aide de questionnaires évaluant la qualité de l'interaction avec l'environnement, la facilité d'interagir avec l'interface et la cohérence entre l'expérience vécue dans l'environnement virtuel et celle vécue dans la vraie vie. Plusieurs facteurs modulent ce sentiment de présence. Certains sont liés aux caractéristiques de l'environnement virtuel, telles que la qualité de l'interface (écran plat vs casque immersif), le type d'interaction (réponse sur un clavier d'ordinateur vs manette ergonomique visible dans l'environnement virtuel) ou le mode de navigation dans l'environnement (déplacement dans l'environnement virtuel à l'aide d'une manette vs déplacement de l'utilisateur dans l'environnement virtuel en marchant dans l'environnement réel). D'autres facteurs sont liés à la perception de l'utilisateur quant au degré de réalisme, à son niveau de contrôle sur l'environnement virtuel et à sa possibilité d'examiner et d'interagir avec les éléments de l'environnement.

Un second enjeu majeur dans le développement de ces outils est la nécessité de limiter la survenue de cybermalaises. Ces cybermalaises se manifestent sous la forme de nausées, de maux de tête ou d'une désorientation spatiale et surviennent lorsque l'utilisateur est immergé dans l'environnement virtuel. Avec le développement récent des casques complètement immersifs, très performants, dotés de lunettes stéréoscopiques permettant une vue à 360° dans l'environnement virtuel, la survenue de cybermalaises est moins fréquente, ce qui favorise l'allongement du temps d'immersion en réalité virtuelle des utilisateurs, un élément particulièrement prometteur pour le développement d'application clinique au niveau des interventions cognitives. Des recherches récentes ont souligné la possibilité d'un lien étroit entre la sensation de présence dans l'environnement virtuel et la survenue de cybermalaises (pour une revue, voir [1]). Ces deux facteurs seraient sous

la dépendance des processus d'intégration sensorielle. La dimension immersive de l'environnement virtuel jouerait également un rôle dans la modulation du sentiment de présence et la survenue de cybermalaises. Si les avancées technologiques actuelles permettent de limiter les risques de survenue de cybermalaises, d'augmenter la sensation d'immersion dans l'environnement virtuel et de renforcer le sentiment de présence, des contraintes nouvelles sont apparues comme la nécessité de prévenir les chutes et le risque de collisions dans l'environnement réel lorsque les personnes sont immergées dans l'environnement virtuel.

## ■ L'évaluation des capacités cognitives à l'aide de la réalité virtuelle

Un enjeu essentiel dans le développement d'outils d'évaluation des capacités cognitives en réalité virtuelle est de savoir si ces outils reflètent le concept qu'ils sont censés mesurer. En d'autres termes, il s'agit ici de vérifier si les performances obtenues à ces outils sont corrélées aux performances des tâches qui mesurent des concepts théoriques similaires. Plusieurs travaux ont rapporté des corrélations significatives entre les tâches en réalité virtuelle et les tâches traditionnelles évaluant les fonctions cognitives (pour des revues, voir [2-5] et pour des exemples, voir [6, 7]). D'autres travaux s'intéressant à la validité écologique de ces outils d'évaluation utilisant la réalité virtuelle ont rapporté des corrélations positives entre les performances en réalité virtuelle et celles obtenues dans des tâches de la vie quotidienne (pour des exemples, voir [8, 9]).

Plus récemment, une tâche entièrement immersive appelée la « boutique virtuelle » [10, 11] a été développée pour évaluer la mémoire de manière plus écologique que les outils neuropsychologiques traditionnels. Cette tâche a été conçue avec un système de réalité virtuelle immersive utilisant un mode de navigation naturelle, la marche, et simulant une situation quotidienne commune qui est celle de faire ses courses dans une épicerie. La tâche consistait à mémoriser une liste d'articles courants, puis à les trouver et à les récupérer dans l'environnement virtuel. La tâche en réalité virtuelle a démontré une bonne faisabilité, tant chez les personnes jeunes que chez les personnes âgées. Le déplacement dans l'environnement était facile, la sélection des produits dans l'environnement simple et très peu de symptômes associés aux cybermalaises ont été rapportés. Au niveau de la validité, les performances à la tâche de la boutique virtuelle étaient corrélées positivement avec celles obtenues à des tests de mémoire épisodique traditionnels tant chez les individus jeunes que chez ceux plus âgés [10, 11]. Ces résultats sont particulièrement intéressants à la lumière des difficultés rencontrées par les personnes âgées atteintes de maladies neurodégénératives qui se retrouvent progressivement en perte d'autonomie. L'utilisation de ce type de tâche en réalité virtuelle offre la

possibilité d'évaluer les répercussions des atteintes cognitives sur le fonctionnement de la personne dans une activité proche de celles réalisées dans la vie quotidienne.

## ■ L'entraînement des capacités cognitives dans des environnements virtuels

L'une des premières études à avoir utilisé la réalité virtuelle dans le but d'améliorer le fonctionnement cognitif de patients avec une maladie neurodégénérative s'est servie de photographies numériques interactives de l'environnement social et local réel des patients pour créer un itinéraire d'achat interactif sur un écran tactile d'ordinateur. Les patients, tous diagnostiqués avec une maladie d'Alzheimer, ont été invités à effectuer une série de tâches cognitives. Les résultats ont mis en évidence qu'après 12 séances d'entraînement cognitif, les patients commettaient moins d'erreurs dans les tâches de navigation spatiale et de rappel libre [12].

Une autre étude s'est intéressée aux bénéfices d'un programme d'entraînement cognitif en réalité virtuelle comparativement à ceux générés par un programme en face-à-face chez des patients présentant une démence. L'entraînement en réalité virtuelle impliquait de mémoriser des objets virtuels et de les récupérer en se déplaçant à l'aide d'une manette dans l'environnement virtuel (une maison et une épicerie). Les résultats ont montré une amélioration des performances dans les deux conditions avec de meilleures performances pour le groupe entraîné en réalité virtuelle au niveau de l'encodage, du rappel total et du rappel différé et de meilleurs scores aux questionnaires de mémoire pour le groupe entraîné en face-à-face [13]. Ces résultats suggèrent qu'un programme d'entraînement en réalité virtuelle est susceptible de générer davantage de gains cognitifs qu'un entraînement en face-à-face et que les approches traditionnelles peuvent être plus appropriées si l'objectif de l'intervention est d'améliorer le sentiment d'auto-efficacité et la métacognition.

Une des principales limites à l'utilisation de la réalité virtuelle dans les interventions destinées à des patients atteints d'une maladie neurodégénérative réside au niveau des conséquences des troubles cognitifs sur la capacité de compréhension des consignes par les patients. Les changements cognitifs qui caractérisent ces maladies sont progressifs et ces maladies peuvent évoluer jusqu'à 20 ans avant que les patients ne répondent aux critères de démence. Le terme trouble cognitif léger a été utilisé pour désigner les patients qui seraient dans la phase clinique de la maladie d'Alzheimer ou d'une maladie apparentée et qui ont une probabilité élevée de progression vers l'une de ces maladies. La présence d'une plainte subjective, qui indique que l'individu est conscient de ses changements cognitifs, est une caractéristique principale du trouble cognitif léger. Pour cette raison, et parce que la capacité d'apprendre de nouvelles compétences et stratégies est préservée dans

cette population, les personnes avec un trouble cognitif léger représentent une population toute désignée pour bénéficier d'une intervention cognitive, qui pourrait améliorer significativement leur qualité de vie en limitant les répercussions cognitives sur leur autonomie au quotidien (pour une revue récente, voir [14]). Une étude incluant des personnes présentant un trouble cognitif léger s'est intéressée aux bénéfices d'un entraînement de la mémoire en réalité virtuelle comparativement à ceux générés par une intervention de musicothérapie. L'entraînement en réalité virtuelle consistait à naviguer dans l'environnement virtuel à l'aide d'une manette et d'un visiocasque et à mémoriser des objets et des itinéraires. Les résultats ont montré après 36 séances sur une période d'entraînement de trois mois, une amélioration du fonctionnement cognitif global (MMSE) et une amélioration de la mémoire verbale (rappel de récits) uniquement pour le groupe entraîné en réalité virtuelle [15].

Une autre étude s'est intéressée à l'apport de la réalité virtuelle dans une intervention ciblant l'entraînement des capacités d'attention sélective et soutenue chez des patients avec une maladie d'Alzheimer ou présentant un trouble cognitif léger. Les résultats ont montré que les patients se sont déclarés très satisfaits et intéressés par la tâche d'attention, et ont rapporté une préférence pour la condition en réalité virtuelle par rapport à la condition papier, même si la tâche était plus difficile. Fait intéressant, les patients apathiques ont montré une préférence pour la condition en réalité virtuelle plus forte que celle des patients non apathiques [16]. Ces résultats suggèrent que l'entraînement basé sur la réalité virtuelle peut être considéré comme un outil intéressant pour améliorer l'adhésion à l'entraînement cognitif chez les patients avec une maladie d'Alzheimer ou à risque.

De façon intéressante, une étude a exploré l'effet d'un entraînement cognitif en réalité virtuelle sur la capacité d'un patient à un stade précoce de la maladie d'Alzheimer à s'orienter dans un immeuble virtuel [17]. Pour favoriser l'immersion, le patient était assis sur un fauteuil roulant, lui-même représenté dans l'environnement virtuel. C'est en manœuvrant le fauteuil dans l'environnement réel que le patient se déplaçait dans l'environnement virtuel. L'entraînement consistait à se rendre jusqu'à une fenêtre, désignée pseudo-aléatoirement, dans un immeuble virtuel de trois étages. Pour atteindre la fenêtre désignée, le participant devait entrer dans le bâtiment, trouver l'ascenseur, s'arrêter à l'étage correspondant et s'orienter jusqu'à la bonne fenêtre. Dans les premières séances, le passage dans l'ascenseur était source de désorientation pour le participant, ce qui pouvait être imputé à la rotation nécessaire pour entrer et sortir de l'ascenseur combinée à une perte temporaire de repères. Cependant, après sept semaines d'entraînement, à raison de trois séances de 45 minutes par semaine, le patient est parvenu à s'orienter dans l'environnement virtuel, sans commettre d'erreur et à se rendre jusqu'aux fenêtres désignées. La conjointe du patient a rapporté une amélioration de l'orientation de son conjoint

lors des trajets en voiture. Ces résultats suggèrent une amélioration des capacités d'orientation spatiale à la suite d'une intervention en réalité virtuelle et laissent entrevoir de futures applications cliniques de programmes d'intervention en réalité virtuelle pour renforcer les capacités d'orientation spatiale des patients dans la phase clinique de la maladie d'Alzheimer dans le but de prévenir la perte d'autonomie.

Ciblant également les capacités d'orientation spatiales qui apparaissent précocement altérées chez les patients atteints d'une maladie d'Alzheimer, une autre étude a évalué l'efficacité d'un entraînement en réalité virtuelle visant l'amélioration de ces capacités. Les patients atteints de la maladie d'Alzheimer étaient invités à participer à rechercher des objets virtuels dans un environnement virtuel reproduisant une petite ville. Puis, dans un second temps, les participants devaient retrouver l'emplacement des objets précédemment trouvés en partant d'un point de départ différent dans la ville virtuelle. Les résultats ont montré une amélioration de la mémoire spatiale à long terme chez les patients entraînés en réalité virtuelle [18].

Deux études récentes se sont intéressées aux effets d'un entraînement en réalité virtuelle semi-immersive avec le système BTS Nirvana chez des patients atteints d'autres maladies neurodégénératives. Dans une première étude, des patients atteints d'une maladie de Parkinson ont été randomisés en deux groupes, l'un avec un entraînement en réalité virtuelle et l'autre avec un entraînement traditionnel (face-à-face). Chaque entraînement comportait 24 séances de 60 minutes à raison de trois séances par semaine pendant huit semaines. L'entraînement en réalité virtuelle comportait des tâches cognitives de natures différentes et les patients étaient invités à répondre en utilisant leurs membres supérieurs. Les images étaient projetées sur un grand écran et une caméra infrarouge enregistrait les mouvements réponses. Les résultats ont montré une plus grande amélioration du fonctionnement cognitif au niveau des capacités exécutives et visuospatiales chez le groupe de patients entraîné en réalité virtuelle [19]. Dans une seconde étude, appliquant le même design expérimental, des résultats similaires ont été retrouvés chez des patients atteints de la sclérose en plaques [20].

De façon intéressante, une étude récente a exploré la question de l'influence du niveau de réserve cognitive des participants sur la capacité à s'améliorer à un entraînement cognitif en réalité virtuelle immersive. L'entraînement consistait à acheter des produits de première nécessité dans un supermarché virtuel et la difficulté était modulée en manipulant le nombre de produits à acheter. Les participants ont été entraînés au cours de huit séances sur une période de quatre semaines. Les résultats ont montré après l'entraînement une amélioration du fonctionnement cognitif global chez les patients avec un trouble cognitif léger et chez les personnes âgées en bonne santé cognitive. De plus, parmi ces dernières, seules celles qui avaient un niveau de scolarité élevé ont montré une plus grande amélioration que celles

avec un niveau d'éducation plus faible. Cette relation n'a pas été retrouvée chez les patients avec un trouble cognitif léger [21]. Ces résultats suggèrent que la réserve cognitive peut moduler les gains cognitifs à la suite des interventions cognitives en réalité virtuelle chez les personnes âgées sans trouble cognitif. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par d'autres études interventionnelles chez les personnes âgées montrant une plus grande amélioration des performances cognitives chez celles avec des niveaux de réserve plus élevés (pour une revue, voir [22]). Ces résultats laissent à penser que l'avantage que procure une réserve cognitive élevée diminuerait lorsque les atteintes neuropathologiques associées à la progression des maladies neurodégénératives deviennent plus importantes. Les caractéristiques de l'individu, telles que son niveau de réserve cognitive, joueraient un rôle modulateur sur l'amélioration des performances cognitives à la suite des interventions tant que le niveau des atteintes neuropathologiques reste faible. Ces interprétations sont en accord avec le modèle Interactive qui prédit que les caractéristiques de l'individu définies notamment par son niveau de réserve cognitive, la taille, le lieu et le nombre de ses atteintes cérébrales vont moduler la réponse neurofonctionnelle et comportementale à une intervention cognitive [23].

Actuellement, nous travaillons à l'adaptation pour les personnes âgées d'un programme d'entraînement de la mémoire de travail dans une situation proche de la vie quotidienne en utilisant la réalité virtuelle et un casque immersif. Ce programme, appelé le *Virtual reality Working memory Training* (VR-WORK-M [24]), recrée un environnement de restaurant dans lequel les participants effectuent une tâche de « *business speech* », qui consiste à mémoriser puis à répéter une série d'éléments verbaux présentés auditivement. Le scénario propose que le participant discute d'un projet d'affaires avec un protagoniste virtuel avec lequel il est attablé dans un restaurant. La tâche de mémoire de travail utilisée dans ce programme est basée sur le paradigme de Brown-Peterson et sollicite à la fois le stockage et la manipulation d'information dans un court intervalle de temps. Dans cette tâche, il est demandé aux participants de rappeler à voix haute plusieurs phrases courtes après des délais variables au cours desquels les participants sont invités à réaliser des tâches interférentes en manipulant du matériel verbal. Les résultats préliminaires montrent une faisabilité élevée, des niveaux d'immersion et de sentiment de présence également élevés et des fréquences très faibles de cybermalaises [25].

Au total, l'ensemble de ces études montrent que l'intervention cognitive en réalité virtuelle chez les patients avec des maladies neurodégénératives ou à risque est susceptible de générer des gains cognitifs observables au niveau des performances à des tâches cognitives expérimentales ou des tests cognitifs utilisés classiquement en clinique. La question qui se pose est celle de la transférabilité de ces gains dans le fonctionnement cognitif au quotidien des patients entraînés. En d'autres termes, une amélioration

de la capacité à rappeler un mot supplémentaire après un entraînement de mémoire en réalité virtuelle se traduit-il par moins d'oublis lorsque le patient va faire ses courses ?

## ■ La réalité virtuelle pour mesurer et promouvoir les effets de transfert

La question du transfert des effets de l'intervention aux activités de la vie quotidienne est centrale dans la prise en charge en neuropsychologie. Au-delà d'améliorer une performance cognitive à certains tests après une intervention cognitive, l'objectif de tout clinicien en neuropsychologie qui prodigue une intervention est de générer un bénéfice fonctionnel direct dans le quotidien du patient. Un enjeu majeur pour que la réalité virtuelle soit adoptée en clinique dans les interventions cognitives réside dans sa capacité à générer des gains cognitifs transférables au niveau de la réalisation des activités de la vie quotidienne. Très peu d'études sont parvenues à mettre en évidence que l'amélioration des performances observées dans les tâches entraînées en réalité virtuelle se transférait sous forme de gains cognitifs dans la vie réelle. De plus, l'utilisation de la réalité virtuelle dans les interventions offre une nouvelle approche particulièrement pertinente pour résoudre le problème de la généralisation des effets de l'entraînement cognitif et de leur transfert dans des situations réelles du quotidien. La réalité virtuelle pourrait être utilisée pour mesurer le transfert des effets de l'entraînement cognitif aux activités de la vie quotidienne (pour une revue, voir [3]). Par exemple, une étude s'est intéressée aux effets d'un entraînement de l'attention chez des participants âgés et a mis en évidence que les performances de ces participants s'amélioreraient après l'entraînement à une tâche non entraînée proche de la vie réelle simulant un « trajet en voiture virtuel » [26]. Dans cette tâche, les participants étaient passagers dans une voiture qui se déplaçait et devaient détecter des panneaux de signalisation pour guider le conducteur lors de l'exécution d'une tâche de mémoire de travail verbale. Fait intéressant, la tâche de réalité virtuelle était plus sensible pour mesurer les effets de l'entraînement que les mesures de transfert auto-rapportées classiquement utilisées.

Dans une récente étude, nous avons évalué le potentiel de la réalité virtuelle immersive pour mesurer le transfert après un entraînement cognitif de type stratégique visant les capacités de mémoire, et si l'efficacité et les effets de transfert étaient augmentés lorsque l'entraînement cognitif était complété par des séances de pratique en réalité virtuelle. Quarante personnes âgées avec un déclin cognitif subjectif ont été entraînées à la méthode des lieux, une stratégie de mémoire basée sur l'imagerie mentale et les tables de rappel. Ils ont été randomisés soit dans une condition où ils ont pratiqué la stratégie en réalité virtuelle, soit dans une condition de contrôle où ils se sont familiarisés avec la réalité virtuelle sans pouvoir pratiquer la stratégie.

L'efficacité de l'entraînement a été mesurée à l'aide d'une tâche de rappel de mots, et les effets de transfert de l'entraînement ont été mesurés à l'aide de deux tâches de rappel en réalité virtuelle ainsi qu'un questionnaire de mémoire d'auto-évaluation. Tous les participants ont amélioré leurs scores de rappel de mots et leurs performances dans les deux tâches de rappel en réalité virtuelle, mais pas sur le questionnaire de mémoire d'auto-évaluation. Cependant, aucune preuve soutenant une augmentation des effets de transfert n'a été trouvée lors de l'enrichissement de l'entraînement avec des exercices de mémoire pratiqués en réalité virtuelle [27]. Nos résultats suggèrent que la réalité virtuelle a un potentiel en tant que mesure de transfert. Ceci est cohérent avec des études précédentes montrant que les évaluations en réalité virtuelle peuvent prédire les performances dans le monde réel (pour un exemple, voir [9]). Quelques études d'entraînement cognitif se sont appuyées sur la réalité virtuelle et ont signalé des effets bénéfiques sur les mesures de la vie réelle. Par exemple, des patients avec des lésions cérébrales qui avaient reçu un entraînement cognitif dans un supermarché virtuel ont amélioré leurs performances dans des situations réelles [28]. Ces résultats suggèrent que les gains cognitifs générés à la suite de l'entraînement dans un environnement virtuel peuvent être transférés à des situations réelles similaires.

De façon intéressante, les résultats de l'étude interventionnelle ACTOP (*Attentional Control Training in Older People*) que nous avons menée récemment chez des personnes âgées, suggèrent que la nature de l'entraînement jouerait un rôle dans la transférabilité des gains cognitifs générés par l'intervention dans la réalisation de tâches de la vie quotidienne. Quarante-deux personnes âgées ont été réparties selon trois conditions d'intervention : un entraînement des capacités de mise à jour (exercices de type N-back), un entraînement des capacités d'inhibition (exercices de type test de Stroop), une intervention contrôle active (jeu de connaissances générales). Tous les participants ont utilisé une tablette pendant l'intervention et ont suivi 12 séances d'une durée de 30 minutes. Les résultats montrent une amélioration rapide des performances pendant l'entraînement, tant pour la mise à jour que pour l'entraînement par inhibition ainsi qu'une amélioration des performances sur toutes les mesures de transfert proximal, mais ces améliorations ne différaient pas du groupe contrôle actif. Les résultats suggèrent que l'entraînement au contrôle attentionnel est efficace pour améliorer les performances de mise à jour et d'inhibition sur les tâches d'entraînement. Malgré une amélioration globale des personnes âgées sur toutes les tâches de transfert, ni l'entraînement de la mise à jour, ni l'entraînement de l'inhibition n'ont permis de générer des améliorations supplémentaires par rapport à la condition de contrôle actif [29, 30]. Cela suggère que l'efficacité de l'entraînement cognitif basée sur les processus n'affecte pas directement les tâches de transfert, à la différence des entraînements cognitifs basés sur l'apprentissage de stratégie explicite qui serait plus à même de mener à des effets de

transfert (pour une revue, voir [31]). Par exemple, une autre étude interventionnelle chez des patients présentant un trouble cognitif léger a montré que seuls les patients entraînés à utiliser des stratégies cognitives (programme MEMO) avaient amélioré leur performance en mémoire au niveau du rappel différé et cette amélioration était associée avec une meilleure utilisation de stratégies dans la vie quotidienne [32]. Ces quelques résultats suggèrent que les interventions cognitives basées sur l'apprentissage de stratégies cognitives seraient plus à même de mener à des transferts dans la vie quotidienne, une information particulièrement pertinente pour le développement de futurs programmes d'interventions en réalité virtuelle susceptibles de générer des bénéfices fonctionnels au niveau de la réalisation des activités de la vie quotidienne.

Par ailleurs, le degré d'immersion que génère l'environnement virtuel pourrait constituer pour les interventions cognitives un enjeu susceptible de limiter l'observation du transfert des bénéfices dans des activités proches de la vie quotidienne. Une étude que nous sommes en train de réaliser vise précisément à déterminer si l'effet de transfert pour une même intervention est plus avantageux lorsque cette intervention est effectuée en réalité virtuelle immersive plutôt que sur tablette numérique. Dans cette étude, des personnes âgées sont entraînées, pendant six sessions de 30 minutes, à prioriser leur attention en situation de double-tâche dans une cuisine virtuelle. Un tiers des participants sont entraînés en réalité virtuelle immersive, un autre tiers est entraîné à l'aide d'une tablette numérique affichant l'environnement virtuel et un dernier tiers effectue une intervention contrôle. L'une des tâches dans la cuisine virtuelle consiste à préparer des cafés individuels et l'autre, à dresser un inventaire en mémorisant les items d'épicerie à racheter. Le transfert est évalué en condition réelle dans une cuisine du Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal à l'aide de la tâche utilisée lors de l'entraînement, en version réelle cette fois-ci [33]. Si le degré d'immersion dans l'environnement virtuel, mais également le degré de ressemblance entre la tâche entraînée et la tâche à réaliser dans le réel sont de nature à favoriser les effets de transfert, alors seules les personnes âgées entraînées en réalité virtuelle immersive devraient s'améliorer davantage que le groupe contrôle en condition réelle. Un degré d'immersion élevé serait également associé à un sentiment de présence dans l'environnement plus élevée et procurerait une meilleure adhésion aux interventions en augmentant la motivation et le plaisir et en favorisant le transfert dans la vie quotidienne (pour une revue, voir [34]).

### ■ L'apport de la neuroimagerie aux interventions cognitives en réalité virtuelle

L'imagerie cérébrale fonctionnelle est un outil particulièrement pertinent pour l'étude des mécanismes neuronaux par lesquels l'entraînement améliore le fonctionnement cognitif.



**Figure 1.** Capture d'écran de la Boutique virtuelle, un environnement virtuel immersif utilisé pour entraîner la mémoire de personnes âgées avec un déclin cognitif subjectif (d'après Boller *et al.* [27]).

Elle permet de renseigner sur la localisation et l'amplitude des changements cérébraux induits par l'entraînement et d'indiquer si l'intervention s'est concentrée sur l'amélioration de la fonction ou de la région cérébrale altérée (effet réparateur), ou si elle s'est appuyée sur les fonctions et les réseaux cérébraux intacts (effet compensatoire). Les quelques études qui ont exploré les changements d'activité cérébrale après un entraînement cognitif chez des patients avec une maladie neurodégénérative ou à risque suggèrent que se produisent des effets à la fois compensatoires et réparateurs (pour une revue, voir [35]). Par exemple, une étude en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle chez des patients avec un trouble cognitif léger a montré que l'entraînement de la mémoire à l'aide de l'apprentissage de stratégie augmentait l'activation cérébrale dans les régions impliquées dans l'encodage de la mémoire avant l'entraînement et induisait de nouvelles activations après l'entraînement dans les régions qui n'étaient pas actives avant l'entraînement [36]. Ces résultats suggèrent que l'entraînement cognitif de type stratégique facilite le recrutement d'un réseau cérébral alternatif intact pour compenser le réseau primaire altéré chez ces patients. En combinant la neuroimagerie fonctionnelle aux interventions cognitives en réalité virtuelle, de nouvelles

perspectives thérapeutiques apparaissent. La neuroimagerie fonctionnelle pourrait être utilisée comme un marqueur prédictif du succès thérapeutique des interventions. Les avancées récentes au niveau de la portabilité de certains outils de neuroimagerie offrent des possibilités nouvelles pour observer l'activité cérébrale lors des interventions et ainsi possiblement agir au cours de l'intervention en fonction des réponses cérébrales recherchées pour maximiser les bénéfices. Parmi ces outils, l'électroencéphalographie et la spectroscopie proche infrarouge sont des outils qui sont amenés à être de plus en plus utilisés au niveau clinique tant les renseignements qu'ils fournissent sont précieux pour améliorer les effets des interventions (pour une revue, voir [37]).

## ■ Conclusion

En conclusion, la réalité virtuelle offre un potentiel considérable pour mesurer et entraîner les capacités cognitives dans des conditions proches de la vie quotidienne. Le développement d'environnements virtuels réalistes, simulant des situations de la vie de tous les jours, couplé aux avancées technologiques récentes en matière d'ergonomie

et de réalisme fait de la réalité virtuelle une technologie très prometteuse pour le développement d'interventions cognitives efficaces chez les patients atteints de maladie neurodégénérative ainsi que pour mesurer les effets de transfert dans des situations proches de la vie quotidienne. Le faible coût, aujourd'hui, du matériel de réalité virtuelle immersive et la disponibilité de plusieurs programmes d'intervention cognitive adaptée à cette technologie offrent des conditions favorables pour une plus grande utilisation de ce type de technologie dans la prise en charge des troubles cognitifs des patients atteints de maladie neurodégénérative. L'engouement pour le développement d'interventions en réalité virtuelle devrait être renforcé par la tendance actuelle à privilégier la télésanté et les prises en charge à domicile ainsi que par la possibilité, dans un futur proche, d'offrir des prestations par l'intermédiaire des réseaux en réalité virtuelle (par exemple le métavers). De plus, avec les progrès réalisés, au cours des dernières années, au niveau du dépistage des troubles cognitifs, il est désormais possible de prendre en charge précocement les personnes susceptibles d'évoluer vers une maladie d'Alzheimer ou une maladie apparentée. Les patients présentant un trouble cognitif léger sont de bons candidats pour les interventions en réalité virtuelle car les capacités d'acquérir de nouvelles connaissances et compétences

restent, à ce stade, encore relativement préservées. Il est donc envisageable que, dans un avenir proche, ces patients puissent suivre des séances d'entraînement cognitif en réalité virtuelle à domicile en toute autonomie. La principale limite à ces possibles développements réside au niveau de la difficulté à mettre en évidence le transfert des effets de l'intervention dans des bénéfices fonctionnels dans la vie quotidienne. Le développement d'environnement virtuel proche des environnements du quotidien pour favoriser ces transferts et les mesurer est certainement une des clés des prochaines avancées dans le domaine de la prise en charge des troubles cognitifs. ■

### Remerciements

Arnaud Boujut est financé sur les fonds de la Chaire de recherche du Canada en neuroscience cognitive du vieillissement et plasticité cérébrale de la professeure Sylvie Belleville, Ph. D., et il reçoit une bourse post-doctorale du Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal.

### Liens d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt en rapport avec cet article.

### Références

1. Weech S, Kenny S, Barnett-Cowan M. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review. *Front Psychol* 2019; 10: 158.
2. Plancher G, Nicolas S, Piolino P. Apport de la réalité virtuelle en neuropsychologie de la mémoire : étude dans le vieillissement. *Psychol Neuropsychiatr Vieil* 2008 ; 6 : 7-22.
3. Shuchat J, Ouellet É, Moffat N, et al. Opportunities for virtual reality in cognitive training with persons with mild cognitive impairment or Alzheimer's disease. *Non-Pharmacological Therapies in Dementia* 2012; 3: 35-54.
4. Abichou K, La Corte V, Piolino P. Does virtual reality have a future for the study of episodic memory in aging? *Geriatr Psychol Neuropsychiatr Vieil* 2017; 15: 65-74.
5. La Corte V, Sperduti M, Abichou K, et al. Episodic memory assessment and remediation in normal and pathological aging using virtual reality: A mini review. *Front Psychol* 2019; 10: 173.
6. Plancher G, Gyselinck V, Nicolas S, et al. Age effect on components of episodic memory and feature binding: A virtual reality study. *Neuropsychology* 2010; 24: 379-90.
7. Jebara N, Orriols E, Zaoui M, et al. Effects of enactment in episodic memory: a pilot virtual reality study with young and elderly adults. *Front Aging Neurosci* 2014; 6: 338.
8. Cushman LA, Stein K, Duffy CJ. Detecting navigational deficits in cognitive aging and Alzheimer disease using virtual reality. *Neurology* 2008; 71: 888-95.
9. Allain P, Foloppe DA, Besnard J, et al. Detecting everyday action deficits in Alzheimer's disease using a nonimmersive virtual reality kitchen. *J Int Neuropsychol Soc* 2014; 20: 468-77.
10. Corriveau Lecavalier N, Ouellet É, Boller B, et al. Use of immersive virtual reality to assess episodic memory: A validation study in older adults. *Neuropsychol Rehabil* 2020; 30: 462-80.
11. Ouellet É, Boller B, Corriveau-Lecavalier N, et al. The Virtual Shop: A new immersive virtual reality environment and scenario for the assessment of everyday memory. *J Neurosci Methods* 2018; 303: 126-35.
12. Hofmann M, Rösler A, Schwarz W, et al. Interactive computer-training as a therapeutic tool in Alzheimer's disease. *Compr Psychiatry* 2003; 44: 213-9.
13. Man DW, Chung JC, Lee GY. Evaluation of a virtual reality-based memory training programme for Hong Kong Chinese older adults with questionable dementia: a pilot study. *Int J Geriatr Psychiatry* 2012; 27: 513-20.
14. Boller B, Prieto del Val L, Belleville S. Cognitive training in mild cognitive impairment. In: Strobach T, Karbach J (eds). *Cognitive training: an overview of features and applications*. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 381-93.
15. Optale G, Urgesi C, Busato V, et al. Controlling memory impairment in elderly adults using virtual reality memory training: a randomized controlled pilot study. *Neurorehabil Neural Repair* 2010; 24: 348-57.
16. Manera V, Chapoulie E, Bourgeois J, et al. A feasibility study with image-based rendered virtual reality in patients with mild cognitive impairment and dementia. *PLoS One* 2016; 11: e0151487.
17. White PJ, Moussavi Z. Neurocognitive treatment for a patient with Alzheimer's disease using a virtual reality navigational environment. *J Exp Neurosci* 2016; 10: 129-35.
18. Serino S, Pedrolì E, Tuena C, et al. A novel virtual reality-based training protocol for the enhancement of the «Mental Frame Syncing» in individuals with Alzheimer's disease: A development-of-concept trial. *Front Aging Neurosci* 2017; 9: 240.
19. Maggio MG, De Cola MC, Latella D, et al. What about the role of virtual reality in Parkinson disease's cognitive rehabilitation? Preliminary findings from a randomized clinical trial. *J Geriatr Psychiatry Neurol* 2018; 31: 312-8.

20. Maggio MG, De Luca R, Manuli A, *et al.* Do patients with multiple sclerosis benefit from semi-immersive virtual reality? A randomized clinical trial on cognitive and motor outcomes. *Appl Neuropsychol Adult* 2022; 29: 59-65.
21. Kim H, Hong JP, Kang JM, *et al.* Cognitive reserve and the effects of virtual reality-based cognitive training on elderly individuals with mild cognitive impairment and normal cognition. *Psychogeriatrics* 2021; 21: 552-9.
22. Boller B, Belleville S. Capacités de réserve et entraînement cognitif dans le vieillissement : similarité des effets protecteurs sur la cognition et le cerveau. *Rev Neuropsychol* 2016 ; 8 : 245-52.
23. Belleville S, Mellah S, de Boysson C, *et al.* The pattern and loci of training-induced brain changes in healthy older adults are predicted by the nature of the intervention. *PLoS One* 2014; 9: e102710.
24. Ansado J, Brulé J, Chasen C, *et al.* The virtual reality working-memory-training program (VR WORK M): Description of an individualized, integrated program. *Annu Rev CyberTherapy Telemed* 2018; 16: 101-8.
25. Boller B, Ansado J, Bouchard S, *et al.* Using virtual reality to assess and train working memory in older adults. In preparation.
26. Bier B, Ouellet E, Belleville S. Computerized attentional training and transfer with virtual reality: Effect of age and training type. *Neuropsychology* 2018; 32: 597-614.
27. Boller B, Ouellet É, Belleville S. Using virtual reality to assess and promote transfer of memory training in older adults with memory complaints: A randomized controlled trial. *Front Psychol* 2021; 12: 627242.
28. Yip BC, Man DW. Virtual reality-based prospective memory training program for people with acquired brain injury. *NeuroRehabilitation* 2013; 32: 103-15.
29. Boujut A, Mellah S, Lussier M, *et al.* Assessing the effect of training on the cognition and brain of older adults: Protocol for a three-arm randomized double-blind controlled trial (ACTOP). *JMIR Res Protoc* 2020; 9: e20430.
30. Boujut A, Verty LV, Maltezos S, *et al.* Effects of computerized updating and inhibition training in older adults: The ACTOP three-arm randomized double-blind controlled Trial. *Front Neurol* [Clinical Trial]. 2020; 11.
31. Boujut A, Belleville S. Où en est-on avec les programmes d'interventions cognitives pour les personnes âgées ? *Rev Neuropsychol* 2019; 11 : 60-69.
32. Belleville S, Hudon C, Bier N, *et al.* MEMO+: Efficacy, durability and effect of cognitive training and psychosocial intervention in individuals with mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc* 2018; 66: 655-63.
33. Boujut A, Lemieux V, Belleville S, *et al.* The benefit of immersive virtual reality for cognitive training in older adults. In preparation.
34. Bauer ACM, Andringa G. The potential of immersive virtual reality for cognitive training in elderly. *Gerontology* 2020; 66: 614-23.
35. Belleville S, Boller B. Comprendre le stade compensatoire de la maladie d'Alzheimer et agir pour promouvoir la cognition et la plasticité cérébrale. *Can J Exp Psychol* 2016 ; 70 : 288-94.
36. Belleville S, Clément F, Mellah S *et al.* Training-related brain plasticity in subjects at risk of developing Alzheimer's disease. *Brain* 2011; 134: 1623-34.
37. Ansado J, Chasen C, Bouchard S, *et al.* How brain imaging provides predictive biomarkers for therapeutic success in the context of virtual reality cognitive training. *Neurosci Biobehav Rev* 2021; 120: 583-94.