

Le point sur les recherches consacrées à la modification du comportement par la réalité virtuelle

Contexte : la réalité virtuelle (RV) est un outil standard, et même nécessaire au progrès scientifique dans un large éventail de domaines, y compris le secteur militaire, les soins de santé, l'ingénierie et l'éducation¹. Dans cet article, nous passons en revue les publications consacrées à la RV et à l'influence sur le comportement; nous nous intéresserons en particulier aux effets de la RV dans le domaine de la modification du comportement, en nous arrêtant sur les conclusions et les limitations les plus fréquentes.

Objectif : conformément au premier objectif de la stratégie opérationnelle du CICR (2019-2022) — influencer sur les comportements pour prévenir les violations du DIH —, l'Unité innovation étudie spécifiquement l'efficacité de la RV en matière d'influence et de modification du comportement. La présente étude vise à consolider les données d'expérience, les leçons tirées et les résultats communément acceptés concernant spécifiquement les effets de la RV en termes de modification du comportement.

Méthodologie : nous avons procédé, entre avril et juin 2019, à un examen des articles consacrés au potentiel de modification du comportement au moyen de la RV. Des recherches par mot-clé ont été effectuées dans les bases de données de PubMed, Science Direct, ST Technologies Published Works, ResearchGate, Semantics Scholar, Frontiers in Psychology et psycINFO. L'algorithme de recherche comprenait toutes les combinaisons possibles de 1) « réalité virtuelle » ou « réalité augmentée » ou « réalité étendue », 2) « influence » ou « modification du comportement » ou « psychologie » et 3) « environnement virtuel ou simulation » ou « jeu vidéo »² ou « ludification ».

Résultats : cette recherche a identifié 579 études répondant aux critères définissant les techniques de modification du comportement par la RV. Après analyse des résumés et des titres de toutes les études, le texte intégral de 136 publications a été étudié ; 79 articles de 25 pays répondaient aux critères d'inclusion. Deux types d'articles ont été définis : a) ceux qui étudient des modifications spécifiques de comportement découlant de l'utilisation de la RV et b) ceux qui ont étudié l'efficacité de la RV en tant qu'outil de recherche sur la modification du comportement. Sur ces 79 articles, 25 avaient été publiés entre 2001 et 2011 ; les 54 autres étaient parus entre 2012 et 2019. Quinze articles sont des examens systématiques ou des méta-analyses recueillant des données de plusieurs études³, ce qui porte le nombre total d'études référencées à 919.

Résumé

La RV est un outil fiable permettant de modifier le comportement et de faire progresser l'étude, l'évaluation et le traitement de certains problèmes psychologiques. La capacité de la RV de susciter des comportements, de renforcer l'empathie, d'éprouver des conséquences, d'anticiper l'avenir, de fournir une boucle de rétroaction et une autorégulation émotionnelle est bien établie. À l'instar des jeux vidéo, la RV est aussi associée à l'addiction, bien que les recherches soient encore insuffisantes en ce qui concerne l'immersion à long terme. La RV est particulièrement adaptée au développement de compétences **cognitives** liées à la mémoire et à la compréhension d'informations et de

¹ Voir, pour plus d'informations, la publication de l'Unité innovation parue en novembre 2018, « Extended Reality: Determining Needs, Expectations and the Future of XR for the ICRC ».

² Jeux vidéo de réalité virtuelle, dans lesquels le joueur utilise à la fois des dispositifs placés sur la tête et un ordinateur de bureau.

³ Les doublons (études apparaissant deux fois) ont été supprimés dans les références.

connaissances spatiales et visuelles ; de compétences **psychomotrices**⁴; et de compétences **affectives** liées à la maîtrise de réponses émotionnelles à des situations stressantes ou difficiles. Les travaux de recherche étudiés ici suggèrent qu'il existe des caractéristiques communes spécifiques de la formation par RV : elle est plus facilement **mémorisable** qu'un simple contenu vidéo, elle est facilement **reproductible**, elle est **modulable** à l'infini et elle peut **isoler les utilisateurs** de tout facteur de distraction. En raison de ses propriétés immersives, la RV est particulièrement adaptée pour dispenser une thérapie d'exposition d'accès aisé. Des études ont conclu que les recherches sur la modification du comportement peuvent être conduites de manière fiable, car la RV simule efficacement la réalité, ce qui est particulièrement utile dans les cas où les conditions de la vie réelle ne permettent pas le contrôle expérimental nécessaire à la validation scientifique ; ceci est particulièrement flagrant dans les cas où répliquer une expérience dans la réalité serait trop dangereux, susciterait des préoccupations ou des problèmes d'ordre éthique, ou serait impossible pour des raisons pratiques ou des questions de coût.

⁴ L'apprentissage psychomoteur se manifeste par des compétences physiques telles que le mouvement, la coordination, la manipulation, la dextérité ou des actions qui font la preuve de compétences motrices fines ou grossières, comme l'utilisation d'instruments ou d'outils de précision.

Commencer par le commencement

La RV est un outil expérientiel qui offre non seulement de multiples possibilités d'observation et d'éducation, mais aussi un mécanisme disruptif pour la recherche sur le comportement et le traitement de celui-ci dans des environnements contrôlés. Avant d'aller plus loin, quelques repères terminologiques pourraient être utiles au lecteur.

Les environnements virtuels (EV) consistent en affichages interactifs d'images, enrichis par un traitement spécial et par des modalités de présentation non visuelles — auditives et haptiques, par exemple — destinées à persuader l'utilisateur qu'il est immergé dans un espace synthétique. La **présence**⁵ désigne la mesure dans laquelle une personne éprouve consciemment l'expérience de l'EV. L'**immersion**⁶ est une qualité de la technologie du système : il s'agit d'une mesure objective de la mesure dans laquelle le système présente un EV convaincant, tout en excluant la réalité physique. Le terme **immersant** désigne l'utilisateur de la RV qui évolue au sein de l'EV.

L'**incarnation**⁷ désigne la conviction, pour l'immersant, qu'il habite physiquement son corps virtuel ou avatar. L'incarnation est parfois désignée par les termes transfert corporel, *flexibilité homonculaire*, ou encore effet Protée⁸. L'**agentivité**⁹ désigne la capacité d'effectuer des actes déterminés et de voir les résultats produits par nos décisions et nos choix. Dans la RV, une agentivité plus élevée entraîne une présence plus forte. La conscience des limites de l'agentivité peut rappeler à l'immersant qu'il se trouve dans une simulation.

La **RV non immersive** désigne l'utilisation d'images en 3D pour créer un EV dans lequel il est possible d'évoluer, mais cette technique n'utilise que des interfaces en 2D, comme des écrans d'ordinateur ou des projecteurs. La **RV immersive** désigne des environnements 3D associés à des interfaces visuelles immersives, telles que des dispositifs placés sur la tête ou des pièces isolées.

La **psychologie cognitive** est l'étude scientifique des processus mentaux tels que l'attention, l'utilisation du langage, la mémoire, la perception, la résolution de problèmes, la créativité et la pensée ; l'apprentissage est un exemple de cognition. La RV est un outil adapté à l'étude de fonctions cognitives complexes, telles que la mémoire prospective. La **psychophysiologie** est une branche de la psychologie qui s'intéresse à l'assise physiologique des processus psychologiques et à l'interaction des réactions mentales et physiologiques de la personne.

La **neuroplasticité** désigne la modification des voies neuronales et des synapses qui se produit sous l'effet de certains facteurs, tels que le comportement, l'environnement ou des processus neuronaux. Lorsque des changements de ce type se produisent, le cerveau déclenche une germination axonale qui crée de nouvelles connexions neuronales dans le cerveau, accompagnée d'un élagage synaptique, en supprimant les connexions neuronales qui ne sont plus nécessaires ou utiles, et en renforçant celles qui sont nécessaires.

⁵ Wallach, H., Safir, M.P. et al., « How Can Presence in Psychotherapy Employing VR be Increased? Chapter for Inclusion in: Systems in Health Care Using Agents and Virtual Reality », dans Brahnam S. et Jain L.C. (dir. de publication), *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6. Virtual Reality in Psychotherapy, Rehabilitation, and Assessment*, Berlin, Heidelberg, 129-147.

⁶ Wilson, C. et Soranzo, A., « The Use of Virtual Reality in Psychology: A Case Study in Visual Perception », *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, (1-2): 151702, septembre 2015. DOI : 10.1155/2015/151702.

⁷ Kilteni, K., Groten, R., Slater, M., « Sense of Embodiment in VR », *Presence Teleoperators* 21(4), novembre 2012. DOI : 10.1162/PRES_a_00124.

⁸ Yee, N. et Bailenson, J., « The Proteus Effect: The Effect of transformed self-representation on behavior », *Human Communication Research*, vol. 33, n° 3, juillet 2007, 271-290. DOI : 10.1111/j.1468-2958.2007.00299.x ; Kilteni, K., Bergstrom, I., Slater, M., « Drumming in immersive virtual reality: the body shapes the way we play », *PubMed*, avril 2013. DOI : 10.1109/TVCG.2013.29.

⁹ Kong, G., He, K., Wei, K., « Sensorimotor experience in VR enhances sense of agency associated with an avatar ». *Consciousness & Cognition*. 52:115-124, juillet 2017. DOI : 10.1016/j.concog.2017.04.018.

S'agissant du sujet plus vaste de l'influence sur le comportement et de la modification de celui-ci, la quantité d'articles et d'ouvrages de recherche a été décrite comme simplement « énorme »¹⁰ ou « à la limite de l'ingérable »¹¹, ce qui n'est guère étonnant, puisqu'il s'agit d'un champ qui recouvre la totalité de l'existence humaine. Toutefois, certains chercheurs ont récemment introduit une distinction¹² selon laquelle les **modèles de comportement** sont davantage axés sur le diagnostic et sur la compréhension des facteurs psychologiques qui expliquent ou prédisent un comportement spécifique, tandis que les **théories de la modification** sont davantage tournées vers les processus et visent à modifier un comportement donné. Dans cette perspective, la compréhension et la modification du comportement constituent deux filières, distinctes mais complémentaires, de recherche scientifique.

Les preuves de modification du comportement dans la réalité virtuelle

La RV est une technologie fascinante et importante, mais l'expérience vécue dans un environnement immersif virtuel est totalement subjective. Pour qu'elle soit efficace, il faut que les immersants se fient à l'expérience à un niveau viscéral ; or, la confiance à l'égard de la technologie n'est pas un fait universel. Pour les personnes convaincues, en revanche, les outils perfectionnés de réalité étendue (XR)¹³ disponibles aujourd'hui sont efficaces et confortables, immersifs et abordables, et de plus en plus mobiles.

La RV est une technologie qui modifie notre expérience du corps, du temps et de l'espace ; à ce titre, elle influence fortement les recherches en matière de neuroplasticité. Ce que nous voyons ou faisons dans une situation de RV peut avoir une influence sur notre comportement dans la vie réelle ; c'est ce que démontre l'effet Protée, lorsque les sujets « se comportent conformément à ce qu'ils considèrent comme les attentes des autres à leur égard », sur la base de l'aspect de leur avatar¹⁴. Ainsi, des sujets incarnés dans un avatar de plus grande taille ont tendance à négocier de manière plus agressive que les sujets dans un avatar de plus petite taille¹⁵.

Cependant, si l'effet Protée peut modifier notre comportement virtuel, il peut aussi changer la manière dont ce comportement se transpose dans le monde réel. La RV immersive a la capacité de nous faire ressentir des émotions ; c'est cette capacité de susciter des expériences associées à des émotions qui donne l'illusion de la présence au sein d'un EV. Plus l'immersion est forte et plus la présence psychologique est intense¹⁶. Lorsque les gens éprouvent des dangers physiques et sociaux, réels ou perçus, dans une situation de RV, les données recueillies suggèrent que les réactions comportementales peuvent être influencées de manière spécifique. Une série d'expériences a ainsi démontré que :

¹⁰ Maio, G. *et al.*, « Social Psychological Factors in Lifestyle Change and Their Relevance to Policy ». *Social Issues and Policy Review*, vol. 1, n° 1, 2007, 99-137. DOI : 10.1111/j.1751-2409.2007.00005.x.

¹¹ Jackson, T., *Motivating Sustainable Consumption: A Review of Evidence on Consumer Behaviour and Behavioural Change*. Sustainable Development Research Network, 15. Londres : SDRN, 15, 2005.

¹² Van der Linden, S. « A Response to Dolan », dans Oliver, A.J. (dir. de publication), *Behavioural Public Policy*, Cambridge University Press, 2013, 209-215.

¹³ La réalité étendue (XR) englobe la réalité virtuelle (RV), la réalité augmentée (RA), la virtualité augmentée (VA) et la réalité mixte (RM).

¹⁴ Kilteni, K., « Drumming in immersive virtual reality: the body shapes the way we play », *PubMed*, avril 2013. DOI 10.1109/TVCG.2013.29

¹⁵ Yee et Bailenson, 2007.

¹⁶ Cummings et Bailenson, « How Immersive is Enough? A Meta-Analysis of the effect of immersive technology on user presence », *Media Psychology*, 00:1-38, 2015. DOI : 10.1080/15213269.2015.1015740

- Lorsque des personnes vivent l'expérience du racisme en revêtant la forme d'un avatar appartenant à une minorité, leur biais raciste implicite dans le monde réel s'en trouve réduit¹⁷.
- Revêtir l'avatar d'une personne âgée incite les sujets à épargner en vue de leur retraite¹⁸.
- Habiter le corps d'un bûcheron qui abat à la tronçonneuse des arbres entourant une clairière accueillante suscite un comportement plus soucieux de l'environnement, sous la forme d'une réduction de 20 % dans la consommation de papier¹⁹.
- Plonger à travers des récifs de corail virtuels et constater leur blanchiment et leur agonie peut susciter un comportement plus soucieux de l'environnement, comme éteindre la lumière ou utiliser moins d'eau (ce comportement modifié a aussi été constaté une semaine après l'expérience de RV)²⁰.
- Revêtir la forme d'une vache et faire l'expérience de la souffrance de l'animal dans un abattoir peut aussi susciter de l'empathie pour une autre espèce²¹.
- Vivre l'expérience d'un diagnostic de maladie incurable et de la mort qui s'ensuit peut préparer des étudiants en médecine à éprouver de l'empathie pour leurs patients²².

Les recherches actuelles montrent aussi que les campagnes destinées à modifier les comportements qui tablent principalement sur la diffusion de messages et d'informations sur ce que *devraient faire* les publics cibles ont étonnamment peu d'effets sur les comportements²³. La manière dont le message est transmis est aussi importante que le contenu lui-même, et la manière dont les diverses parties perçoivent leur réalité joue un rôle crucial. Des films RV à 360 degrés ont été utilisés de manière croissante en RV immersive, surtout dans le domaine du journalisme, mais la plupart des contenus disponibles dans ce format cantonnent les utilisateurs dans un rôle passif, ce qui permet la présence, mais limite l'immersion et l'agentivité²⁴.

La viabilité du traitement psychologique en RV repose sur l'efficacité avec laquelle les environnements virtuels peuvent provoquer des réactions subjectives et physiologiques comparables à celles qui se produisent en situation réelle²⁵. La RV peut déclencher, chez les immersants, des niveaux de stress et

¹⁷ Hasler, B., *et al.*, « Virtual Race Transformation Reverses Racial In-Group Bias », *PlosONE*, 24 avril 2017. DOI : 10.1371/journal.pone.0174965 ; Peck, T.C., *et al.*, « Putting yourself in the skin of a black avatar reduces implicit racial bias », *Conscious Cogn.*, septembre 2013 ; 22(3): 779-87. DOI : 10.1016/j.concog.2013.04.016. Publication en ligne : 28 mai 2013.

¹⁸ Hershfield, H.E. *et al.*, « Increasing saving behavior through age-progressed renderings of the future self », *J Mark Res.* novembre 2011 ; 48: S23-S37. DOI : 10.1509/jmkr.48.SPL.S23

¹⁹ Ahn, S.J.G. *et al.*, « Short- and long-term effects of embodied experiences in immersive virtual environments on environmental locus of control and behavior », *Computers in Human Behaviour*, 39, 235-245. DOI : 10.1016/j.chb.2014.07.025

²⁰ Markowitz, D.M. *et al.*, Immersive Virtual Reality Field Trips Facilitate Learning About Climate Change. *Frontiers in Psychology*, 9, 2018. DOI=10.3389/fpsyg.2018.02364

²¹ Ahn *et al.*, Experiencing Nature: Embodying Animals in Immersive Virtual Environments Increases Inclusion of Nature in Self and Involvement With Nature, 2016. DOI : 10.1111/jcc4.12173

²² « End-of-Life Virtual Reality Simulation », University of New England College of Osteopathic Medicine, mars 2019.

²³ Rice, R.E., Atkin, C.K. (dir. de publication), *Public Communication Campaigns*, 4^e édition, SAGE Publications, Thousand Oaks, CA, 2013 ; Harrington N.G., Helme, D.W., Noar, S.M., « Message design strategies for risk behavior prevention », dans : Scheier LM (dir. de publication), *Handbook of adolescent drug use prevention: Research, intervention strategies, and practice*. Washington, DC: American Psychological Association, 2015.

²⁴ Hardee, G.M. et McMahan, R.P., « FIJI: A Framework for the Immersion-Journalism Intersection », *Front. ICT* 4:21, 2017. DOI : 10.3389/fict.2017.00021

²⁵ Cornwell, B.R., Johnson, L., Berardi, L., et Grillon, C., « Anticipation of public speaking in VR reveals a relationship between trait social anxiety and startle reactivity », *Biol Psychiatry*, avril 2006 1 ; 59(7) : 664-666. DOI : 10.1016/j.biopsych.2005.09.015 ; Opris, D. *et al.*, « Virtual Reality Exposure Therapy in anxiety disorders: a quantitative meta-analysis », *Depress Anxiety*, février 2012 ; 29(2): 85-93. DOI : 10.1002/da.20910 ; Diemer, J., Mühlberger, A., Pauli, P., et Zwanzger, P., « Virtual reality exposure in anxiety disorders: impact on

de réactions physiologiques comparables à ceux du monde réel, ce qui signifie que l'univers virtuel peut avoir un effet aussi durable, et même aussi traumatisant, en dehors de la RV²⁶.

Une expérience reproduisant, en RV, les fameuses expériences de Milgram sur l'obéissance²⁷ a non seulement abouti aux mêmes résultats que l'expérience réelle, mais a montré en outre que les sujets réagissaient comme si les secousses qu'ils administraient étaient réelles, alors même qu'ils savaient qu'elles n'étaient que virtuelles²⁸.

Des décennies de recherches démontrent que la RV peut être utilisée avec succès pour soigner des phobies et des troubles de stress post-traumatique²⁹. À titre d'exemple, des patients phobiques peuvent être exposés, de manière répétée, à un stimulus stressant, d'intensité variable, dans des conditions de sécurité totale, ce qui représente une thérapie d'exposition en version RV. Avec le temps, ce type d'expérience permet de réduire la réaction de stress ou de peur à ce stimulus. Ce type de conclusion étaye l'idée selon laquelle les réactions émotionnelles et physiologiques aux stimuli en RV sont similaires à celles que nous vivrions dans des situations réelles.

La polyvalence de la RV : recherche, éducation et traitement

La possibilité de varier (ou de maîtriser) l'intensité du stimulus est une caractéristique importante de la RV, car elle permet d'accoutumer progressivement le sujet à des stimuli de peur croissants, au moyen d'expositions répétées. Toute situation stressante peut être transformée d'une expérience de RV inoffensive en une expérience plus provocante, qui peut aller de la manipulation d'une araignée à la relation avec un client en colère. Dans la simulation SpiderWorld, les patients regardent une araignée créée par ordinateur dans un EV tout en caressant une araignée en peluche dans la réalité³⁰ ; il est prouvé que le renforcement tactile multiplie par deux l'efficacité du traitement par rapport à une RV ordinaire. Le fait d'ajouter des perceptions sensorielles supplémentaires accroît le degré d'immersion, d'où le niveau plus élevé de présence corrélée et l'accroissement, en aval, du potentiel

psychophysiological reactivity », *World J Biol Psychiatry*, août 2014 ; 15(6) : 427-42. DOI : 10.3109/15622975.2014.892632 ; Mühlberger, A., Bühlhoff, HH., Wiedemann, G., Pauli, P., « Virtual reality for the psychophysiological assessment of phobic fear », *Psychol Assess*, septembre 2007 ; 19(3) : 340-346. DOI : 10.1037/1040-3590.19.3.340 ; Villani, D., Repetto, C., Cipresso, P., Riva, G., « May I experience more presence in doing the same thing in virtual reality than in reality? An answer from a simulated job interview », *Interacting with Computers* 24(4) : 265-272 DOI : 10.1016/j.intcom.2012.04.008 ; Stolz, S.A., « Embodied learning », *Educ. Philos. Theory* 47:47 DOI : 10.1080/00131857.2013.879694 ; Poultney *et al.*, « Health Behaviour Change Through Computer Games: Characterising Interventions », *Stud Health Technol Inform*, 2016 ; 231:91-98.

²⁶ Allcoat, D. *et al.*, *Frozen with Fear: Conditioned Suppression in a VR Model of Human Anxiety*. DOI : 10.1016/j.beproc.2015.06.011

²⁷ Stanley Milgram, psychologue à l'Université de Yale, a réalisé une étude en 1963 pour établir si les soldats nazis n'avaient fait qu'obéir aux ordres ou s'ils devaient être considérés comme complices de crimes de guerre. Les résultats de son expérience, basée sur le fait d'infliger une douleur physique à un autre individu, tendent à montrer qu'un être humain moyen a tendance à exécuter les ordres données par une personne qui représente l'autorité, même au prix de tuer une personne innocente.

²⁸ Slater, M. *et al.*, « A Virtual Reprise of the Stanley Milgram Obedience Experiments », *PLOSOne* 2006. DOI : 10.1371/journal.pone.0000039.

²⁹ Powers, M.B. *et Emmelkamp, P.M.*, « Virtual Reality exposure therapy for anxiety disorders: A meta-analysis », *J Anxiety Disord*. 2008, 22(3) : 561-569. DOI : 10.1016/j.janxdis.2007.04.006 ; Wang *et Li*, « Virtual Reality Exposure Therapy of Anxiety Disorders », *Advances in Psychological Science*, 2012, vol. 20, n° 8 : 1277-1286, DOI : journal.psych.ac.cn/xlxjz/EN/Y2012/V20/I8/1277 ; Gregg, L., Tarrier, N., « Virtual reality in mental health: a review of the literature », *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol*, mai 2007 ; 42(5) : 343-54. DOI : 10.1007/s00127-007-0173-4 ; Rizzo, A.A., Highland, K.B. *et al.*, « Catecholamine responses to virtual combat: implications for post-traumatic stress and dimensions of functioning », *Front Psychol*, 2015 ; 6: 256. DOI : 10.3389/fpsyg.2015.00256 ; Ling, Y. *et al.*, « A Meta-Analysis on the relationship between self-reported presence and anxiety in virtual exposure therapy for anxiety disorders », *PLoS One*, 6 mai 2014 ; 9(5):e96144. DOI : 10.1371/journal.pone.0096144.

³⁰ Hoffman, H.G., « Immersive VR for Reducing Experimental Ischemic Pain », *Intl Jour of Hum-Comp Interactions*, 15(3), 2003, 469-486.

de modification du comportement. Il convient de tenir compte, dans la conception d'une intervention destinée à modifier un comportement, de l'immersion et de l'agentivité.

Des études prouvent aussi que la RV est un outil extraordinairement pertinent dans l'étude de fonctions cognitives complexes. Ainsi, la capacité d'estimer et d'évaluer la mémoire prospective (MP) — par quoi on entend la capacité de se souvenir de réaliser des intentions dans l'avenir — peut être mesurée avec précision dans un EV³¹. Un déficit de MP peut être causé par une lésion traumatique du cerveau, par la sclérose en plaques, par la maladie de Parkinson, par la maladie d'Alzheimer ou par d'autres neuropathologies du même ordre. La RV est une manière prometteuse d'évaluer les fonctions cognitives sans limitations logistiques ou méthodologiques, grâce à une maîtrise expérimentale accrue dans des environnements réalistes. La RV permet aussi d'évaluer efficacement la capacité d'attention, c'est-à-dire la concentration sélective sur un aspect bien circonscrit d'une information, qu'elle soit considérée comme subjective ou objective, tout en ignorant délibérément d'autres informations perceptibles. Cette capacité peut offrir aux médecins, aux chercheurs et aux éducateurs des méthodes innovantes et écologiquement pertinentes pour mieux évaluer la concentration, la motivation et les capacités d'apprentissage, ou pour contrôler les progrès à la suite d'une formation ou d'un traitement³².

Les conclusions suggèrent que la RV peut être utilisée pour aider à soigner d'autres troubles psychologiques que le stress post-traumatique PTSD³³ et l'arachnophobie : les AVC³⁴, la paralysie cérébrale³⁵, la maladie de Parkinson³⁶, le syndrome de Guillain-Barré³⁷ et la sclérose en plaques³⁸, entre autres. Des enfants présentant des degrés divers d'autisme ont tiré parti de modélisations de comportement social en RV³⁹, tandis que des enfants atteints de paralysie cérébrale suivant une rééducation physique⁴⁰ s'entraînaient plus longtemps et plus fréquemment grâce à une simulation de RV motivationnelle « de type ludique », qui détournait leur attention de la douleur⁴¹.

Les possibilités de mieux comprendre le lien entre l'esprit et le corps sont considérables. Les psychophysiologues recourent à la RV pour mesurer les réactions physiologiques, comme l'élévation du rythme cardiaque (ou la variabilité du pouls), en réponse à des stimuli psychologiques, par exemple

³¹ Gonneaud *et al.*, Assessing prospective memory in young healthy adults using VR. Université de Caen, Basse-Normandie, 2012.

³² El Beheiry, M. *et al.*, « Virtual Reality: Beyond Visualization », *J Mol Biol*, 29 mars 2019 ; 431(7):1315-1321. DOI : 10.1016/j.jmb.2019.01.033 ; Gonneaud *et al.*, 2012 ; Powers et Emmelkamp, 2008.

³³ Parsons, T.D., Rizzo A. A., « Affective Outcomes of VR Exposure Therapy for Anxiety Disorders: A Quantitative Meta-Analysis », Institute for Creative Technologies, USC. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry* 39 (2008) 250-261.

³⁴ Jack, D. *et al.*, « Virtual reality-enhanced stroke rehabilitation », *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.*, septembre 2001 ; 9(3): 308-18. DOI : 10.1109/7333.948460.

³⁵ Reid, D.T., « Benefits of a virtual rehabilitation for children with cerebral palsy », *Pediatr Rehabil*, juillet-septembre 2002, 5(3) : 141-148. DOI : 10.1080/1363849021000039344.

³⁶ Mirelman, A. *et al.*, « VR for gait training: can it induce motor learning to enhance complex walking and reduce fall risk in patients with Parkinson's disease? », *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, février 2011 ; 66(2) :234-40. DOI : 10.1093/gerona/glq201.

³⁷ Albiol-Pérez, S. *et al.*, « A virtual rehab system for Guillain-Barré syndrome », *Met Inf Med*. 2015 ; 54(2) :127-134. DOI : 10.3414/ME14-02-0002.

³⁸ Fulk, G.D., « Locomotor training and virtual reality-based balance training for an individual with multiple sclerosis: a case report », *J Neurol Phys Ther*, mars 2005 ; 29(1) : 34-42. DOI : 10.1097/01.npt.0000282260.59078.e4.

³⁹ Schuller, B. *et al.*, « Serious Gaming for Behavior Change: The State of Play », *IEEE Pervasive Computing*, juillet-septembre 2013, 12(3), 48-55. DOI : 10.1109/MPRV.2013.54.

⁴⁰ Rose, T. *et al.*, « Immersion of Virtual Reality for Rehabilitation — Review », *Appl Ergon.*, 6 février 2018 ; 69 : 153-161. DOI : 10.1016/j.apergo.2018.01.009. 0.

⁴¹ Sveistrup, H., « Motor rehabilitation using virtual reality », *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2004, 1:10. DOI : 10.1186/1743-0003-1-10.

la peur ou la colère après une simulation de combat. Les fonctions cognitives, le traitement des données et les simulations informatiques — en particulier celles qui mêlent les interactions avec les données, la cognition humaine et les algorithmes automatisés — devraient avoir des effets importants sur l'avenir de la RV dans la recherche scientifique⁴².

La RV révolutionne les expériences d'apprentissage axées sur l'acquisition de connaissances et de compétences tout en donnant la priorité à la sécurité, et elle favorise des avancées dans divers domaines, des soins de santé à l'apprentissage machine. Elle constitue déjà un outil révolutionnaire pour la fabrication et la formation pratique, et elle est aussi étudiée pour les applications qui pourraient encourager l'exercice physique et comme méthode de gestion de la douleur. Tout cela s'explique par la capacité sans pareil de la RV de se prêter à une mise en récit captivante et à l'illustration de concepts visuels complexes. Des modules de formation en RV peuvent servir à communiquer des contenus adaptés et pertinents de manière attrayante en utilisant un apprentissage expérimental fondé sur la narration, dont la valeur éducative est étayée depuis longtemps par un grand nombre d'études⁴³.

Les avantages et les risques de l'isolement dans la réalité virtuelle

L'isolement, qu'il soit vécu dans la réalité ou dans un environnement virtuel, peut être une expérience gratifiante ou exténuante. Dans le monde virtuel, il est considéré comme une distraction cognitive et il peut permettre à la fois la concentration dans un environnement d'apprentissage ou la séparation du corps physique.

L'isolement de toute distraction en RV peut susciter un engagement et une interactivité accrus entre utilisateurs, ce qui peut être positif dans certains cadres d'enseignement scolaire⁴⁴. Les données recueillies portent à croire que l'apprentissage en RV, avec l'isolement et l'interface tactile, favorise la mémorisation ; après une expérience spatiale en RV, les sujets ont tendance à mieux se rappeler le contenu de l'enseignement qu'après visionnement d'une vidéo ou d'outils textuels⁴⁵. Les avantages éducatifs obtenus grâce à la RV sont surtout constatés après des leçons à caractère spatial ou visuel⁴⁶ ; les autres types objectifs de simulation éducative en RV donnent les mêmes résultats que des leçons données en personnes ou basées sur des textes⁴⁷. Lorsque les sujets éprouvent la présence en RV, ils vivent l'expérience comme si quelque chose leur arrivait effectivement dans la vie réelle, plutôt que de l'observer. L'effet de la RV dans la salle de cours n'est pas décisif, mais la majorité des études analysées pour cet article concluent que la motivation est renforcée chez les étudiants et que la communication entre enseignants et étudiants gagne en efficacité⁴⁸.

⁴² El Beheiry, M. *et al.*, 2019.

⁴³ Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: An experimental and social study*. Cambridge: Cambridge University Press. Karpicke, J. D., et Grimaldi, P. J. (2012), « Retrieval-based learning: A perspective for enhancing meaningful learning. » *Educational Psychology Review*, 24(3), 401-418. Walsh, S. (2016). « Learning from stories of mental distress in occupational therapy education ». *The Journal of Mental Health Training, Education and Practice*, 11(4).

⁴⁴ Christopoulos, A., Conrad, M., Shukla, M., « Increasing Student Engagement through VR Interaction: How », *VR*, novembre 2018, vol. 22, n° 4, 353-369 ; Allcoat, D., Von Muhlenen, A., « Learning in VR: Effects on Performance, Emotion and Engagement », *Research in Learning Technology* 26. Novembre 2018. DOI 10.25304/rlt.v26.2140.

⁴⁵ Clark, J.M., et Paivio, A., « Dual Coding Theory and Education », *Educational Psychology Review*, vol. 3, n° 3, 1991 ; Christou, C., « Virtual Reality in Education », dans *Affective, Interactive and Cognitive Methods for E-Learning Design: Creating an Optimal Education Experience*, IGI Global, Edition : 1, Chapter : 12, juin 2010. DOI : 10.4018/978-1-60566-940-3.ch012.

⁴⁶ Christou, C., juin 2010.

⁴⁷ Allcoat, D., Von Muhlenen, A., « Learning in VR: Effects on Performance, Emotion & Engagement », *Research in Learning Technology* 26. Nov 2018. DOI : 10.25304/rlt.v26.2140.

⁴⁸ Hew et Chung, « Use of 3D immersive virtual worlds in K-12 and higher education settings: A review », [British Journal of EduTech](#) 41(1) : 33-55, janvier 2010. DOI : 10.1111/j.1467-8535.2008.00900.x.

Ainsi, l'apprentissage par RV peut donner naissance à des souvenirs vécus comme une expérience, comme une partie de l'ensemble du réseau associatif autobiographique, et non pas comme une leçon ou comme un événement épisodique isolé. Le fait de se remémorer un souvenir autobiographique semble beaucoup plus puissant que le souvenir d'un événement épisodique isolé⁴⁹. En outre, le souvenir appris est ancré et renforcé lorsqu'il est accompagné d'apports plurisensoriels et émotionnels supplémentaires. L'augmentation de la présence — et de la réactivité émotionnelle — s'accompagne d'une rétention mnémorique plus forte.

- Dans une étude⁵⁰, les participants ont visionné un trajet en motocyclette, présenté sous forme soit d'une vidéo RV à 360 degrés, soit d'une vidéo en deux dimensions. Un test de mémoire spatiale a ensuite été effectué 48 heures plus tard en demandant aux participants de reconstituer l'itinéraire (carte) parcouru. Les résultats du groupe de la RV étaient deux fois meilleurs que ceux du groupe de la vidéo 2D.
- Dans une autre étude⁵¹, un groupe d'étudiants en médecine a pu manipuler une image 3D d'un système anatomique, tandis qu'un autre groupe se contentait d'observer. Le premier groupe a régulièrement obtenu des résultats nettement meilleurs que le groupe d'observation.
- Plusieurs études sur des étudiants en médecine ont montré non seulement l'efficacité de la RV en matière de formation par rapport à la vraie vie, mais aussi un léger avantage dans le domaine des connaissances post-intervention⁵².

L'isolement du milieu ambiant en RV peut produire des résultats divers, allant de la négligence personnelle à une insensibilité à des douleurs extrêmes ou à un environnement hostile. Une étude a montré que des personnes se trouvant dans une situation de RV étaient moins susceptibles de ressentir des stimuli extérieurs à la RV⁵³, si, par exemple, quelqu'un touchait leurs mains. Il en découle des risques pratiques pour la santé et la sécurité de la personne. Il se pourrait que des situations dangereuses dans la vie réelle ne déclenchent pas les réactions permettant d'éviter une blessure ou d'autres comportements protecteurs, en raison d'un affaiblissement de la distinction entre le virtuel et le réel. Dans le cadre d'une étude réalisée en 2014 par une équipe de l'Université de Hambourg⁵⁴, un scientifique a été placé dans un EV pendant 24 heures, après quoi il lui a été demandé de trier des objets selon qu'ils appartenaient au monde réel ou au monde virtuel ; à plusieurs reprises durant l'expérience, le participant a eu du mal à décider s'il se trouvait dans l'environnement virtuel ou dans le monde réel.

Toutefois, pour déstabilisante que puisse se révéler la distraction cognitive, elle peut aussi avoir son utilité. Divers groupes de recherche ont procédé à des expériences au moyen de divers EV permettant d'aider à distraire des patients gravement brûlés durant les procédures douloureuses de soins quotidiens de leurs blessures, de changement de pansement, et au cours de la thérapie physique

⁴⁹ Jebara, N. *et al.*, « Effects of enactment in episodic memory: a pilot VR study », *Front. Aging Neurosci.*, 17 décembre 2014. DOI : 10.3389/fnagi.2014.00338.

⁵⁰ Roettl, J., Terlutter, R., « The Same Video Game in 2D, 3D, and VR – How does technology impact game evaluation and brand presence? », *PLOS One* 2018. DOI : 10.1371/journal.pone.0200724.

⁵¹ Jang, S. *et al.*, « Direct manipulation is better than passive viewing for learning anatomy in 3D VR », DOI : 10.1016/j.compedu.2016.12.009.

⁵² Kyaw, B.M. *et al.*, « Virtual Reality for Health Professions Education: Systematic Review and Meta-Analysis by the Digital Health Education Collaboration », *J Med Internet Res*, 22 janvier 2019 ; 21(1):e12959. DOI : 10.2196/12959 ; Madary, M., Metzinger, T.K., « Real Virtuality: A Code of Ethical Conduct », *Front. Robot. AI*, 19 février 2016, DOI : 10.3389/frobt.2016.00003 ; El Beheiry, M. *et al.*, 2019.

⁵³ Hoffman, H.G (2001 et 2003); Gromala, D. *et al.*, « Mobius Floe: An Immersive Virtual Reality Game for Pain Distraction », *Electronic Imaging* 2016(4) : 1-5.

⁵⁴ Steinicke, F., Bruder, G., « A Self-Experimentation Report about Long-Term Use of Fully-Immersive Technology », *Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Spatial user interaction*, octobre 2014, 66-69. DOI : 10.1145/2659766.2659767.

douloureuse nécessaire pour favoriser la bonne cicatrisation des greffes de peau⁵⁵. L'objectif des concepteurs était de distraire les immersants de la douleur par une activité virtuelle, et ce malgré leurs contraintes physiques. Dans de nombreux cas, l'immersant était extrêmement limité dans ses mouvements, dans l'impossibilité de faire usage de ses mains ou de ses pieds, et sous sédation au moins partielle ; de ce fait, la locomotion devait être automatisée pour permettre les déplacements dans l'EV, avec des tâches suffisamment simples pour le patient, tout en étant assez complexes pour le distraire du monde extérieur. Globalement, les patients ont fait état d'une réduction de la douleur de 60 à 75 pour cent par rapport au niveau ressenti avant leurs séances de RV. Par comparaison, le taux moyen de réduction de la douleur obtenue grâce à la morphine était de l'ordre de 30 pour cent.

La distraction peut aussi aider des personnes à supporter une rééducation physique difficile⁵⁶ et à s'entraîner plus longtemps et plus intensivement⁵⁷, en estompant la perception de la fatigue musculaire et de la douleur. Globalement, les participants portant des casques de RV présentaient, à mi-parcours de leur entraînement, un rythme cardiaque moins élevé, une intensité de douleur subjective plus faible et un épuisement perçu moins fort par rapport au groupe sans RV, ce qui renforçait par conséquent leur volonté de poursuivre l'effort. Les participants ont aussi pu s'exercer jusqu'à trois minutes de plus que le groupe témoin.

Le jeu et la « théorie du nudge » dans les environnements virtuels

La « théorie du nudge » ou du « coup de pouce » (*nudge theory*)⁵⁸ s'intéresse principalement à la formation des choix qui influencent nos décisions, en examinant la manière dont les gens réfléchissent et décident réellement (c'est-à-dire de manière instinctive et plutôt irrationnelle), plutôt que de se fonder sur ce que l'on considère généralement comme le mode de réflexion et de décision (logique et rationnel). La ludification, quant à elle, consiste à utiliser le mécanisme et les techniques de conception des jeux dans des contextes non ludiques pour modifier les comportements, pour développer les compétences et pour guider l'innovation. Elle recourt par exemple à la compétition, au sentiment de réussite et récompense les joueurs par des réactions adaptées et opportunes. Elle a pour objet d'encourager l'engagement et d'aider les individus à prendre de meilleures décisions et à atteindre des résultats optimaux. Les recherches montrent que le recours aux méthodes issues du monde du jeu dans l'enseignement produisent de meilleurs résultats, en termes d'apprentissage, que de simples simulations ou des environnements virtuels⁵⁹.

Sur l'ensemble de la planète, 3 milliards d'heures par semaine sont consacrées à jouer à des jeux vidéo⁶⁰ qui nous transportent dans de nouveaux environnements (ou nous permettent de quitter le

⁵⁵ Gromala, D. *et al.*, 2016 ; Haik, J. *et al.*, « The Use of Video Capture Virtual Reality In Burn Rehabilitation: The Possibilities », *J Burn Care Res.* mars-avril 2006 ; 27(2) : 195-197 ; Hoffmann, H.G. *et al.*, « The Effectiveness of VR Pain Control with Multiple Treatments of Longer Duration: A Case Study », *J Burn Care and Rehab*, 13(1) : 1-12 mars 2001 ; Hoffmann, H.G. *et al.*, « Immersive VR for Reducing Experimental Ischemic Pain », *International Journal of Human-Computer Interactions*, 15(3), 2003, 469-486.

⁵⁶ Anderson-Hanley, C. *et al.*, « Social Facilitation in VR-Enhanced Exercise », *Clin Interv Aging*, 2011 ; 6 : 275-280. DOI : 10.2147/CIA.S25337 ; Nunes, M. *et al.*, Motivating People to Perform Better in Exergame VEs. 29th ACM Symp on AppComp. DOI : 10.1145/2554850.2555009.

⁵⁷ Matsangidou, M. *et al.*, « VR: The effect of body consciousness on exercise sensations », *Psych of Sport/Exer*, vol. 41, mars 2019, 218-224.

⁵⁸ Thaler, R. H. et Sunstein, C. R., *Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness*, Yale University Press, 2009, ISBN 978-0-14-311526-7. OCLC 791403664.

⁵⁹ Merchant, Z. *et al.*, « Effectiveness of VR-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: a meta-analysis », *Computers and Education*, vol. 70, janvier 2014, 29-40. DOI : 10.1016/j.compedu.2013.07.033.

⁶⁰ Heitner, D., « Watching Video Games Is Now Bigger Than Traditional Spectator Sporting Events », *Inc. Com.*, 2 avril 2018, <https://www.inc.com/darren-heitner/watching-video-games-is-now-bigger-traditional-spectator-sporting-events.html>.

nôtre), au sein desquels nous pouvons renforcer des compétences comme la reconnaissance des formes, élaborer des stratégies et nous entraîner à prendre des décisions appropriées. La boucle de rétroaction essentielle nous incite à l'autoréflexion et à l'apprentissage.

De nombreux travaux de recherche indiquent que la pratique des jeux vidéo peut avoir les effets suivants :

- modifier les zones du cerveau responsables de l'attention et des compétences visuo-spatiales,
- améliorer l'acuité visuelle⁶¹,
- renforcer la capacité d'effectuer plusieurs tâches simultanément et l'efficacité⁶².

Les jeux vidéo peuvent aussi créer une addiction, dite « trouble du jeu vidéo ». Des chercheurs ont constaté, chez les personnes dépendantes aux jeux vidéo, des modifications fonctionnelles et structurelles du système de récompense neuronale, notamment en les exposant à des signaux de jeu provoquant des envies intenses et en surveillant leurs réponses neuronales. Toutefois, ces effets ne se traduisent pas toujours en modifications dans la vie réelle. Comme les risques associés au trouble du jeu vidéo sont très récents, on connaît encore relativement mal la manière dont les divers aspects des jeux touchent certaines zones du cerveau.

Les caractéristiques très subjectives de l'incarnation et de l'agentivité font qu'il est difficile pour les chercheurs de préciser des paramètres spécifiques pour l'immersion, mais l'objectif consiste à susciter la présence dans un EV qui crée un engagement émotionnel à la « dose » appropriée pour chaque personne. Les progrès réalisés dans les jeux vidéo en matière de qualité du graphisme, d'espace sonore en relief, de point de vue subjectif, de conception de l'interface et de rétroaction haptique commencent à réduire l'écart d'immersion entre la RV isolée et les jeux vidéo de bureau, ce qui permet aux joueurs de définir leur propre dosage d'EV.

La manière dont nous jouons — avec détermination et engagement, parfois jusqu'à l'obsession, voire à la dépendance — montre comment les techniques de jeu nous captivent de diverses manières tout à fait particulières, et comment la ludification peut être utilisée pour modifier le comportement. La Queen's University de Belfast a récemment étudié le rôle des jeux vidéo dans l'enseignement de l'éthique et la résolution des problèmes spécifiques au droit international humanitaire (DIH). L'étude a conclu que la ludification du DIH constituait « une manière productive de mobiliser les intelligences diverses des étudiants et d'offrir des points d'accès supplémentaires à l'apprentissage afin de combler l'écart entre la lettre du droit et ses applications dans le monde réel »⁶³.

Les inconnues bien connues de la réalité virtuelle

Ce tour d'horizon des publications a identifié des travaux de recherche, réalisés sur une durée de vingt ans, présentant des données concernant l'influence psychologique sur des sujets immergés dans un EV. À ce titre, la RV présente des possibilités importantes, mais aussi des risques inédits, qui sortent du cadre des risques d'expériences psychologiques traditionnelles dans des environnements isolés, et aussi des risques des technologies des médias disponibles au grand public.

Les effets psychologiques de l'immersion à long terme sont tout simplement inconnus. La plupart des travaux de recherche scientifique sur la RV n'ont porté, à ce jour, que sur des périodes d'immersion

⁶¹ Green C.S., Bavelier D., « Action-video-game experience alters the spatial resolution of vision », *Psychol Sci.* 2007 ; 18(1) : 88-94. DOI : 10.1111/j.1467-9280.2007.01853.x.

⁶² Palau, M. et al., « Neural Basis of Video Gaming: A Systematic Review », *Front. Hum. Neurosci.*, 22 mai 2017. DOI : 10.3389/fnhum.2017.00248.

⁶³ Moffett, L., Cubie, D., et Godden, A., « Bringing the battlefield into the classroom: using video games to teach and assess international humanitarian law », *The Law Teacher*, vol. 51, n° 4 (2017), 499-514. DOI : 10.1080/03069400.2017.1356659.

brèves, se comptant généralement en minutes plutôt qu'en heures. Or, une fois que la technologie sera adoptée pour un usage personnel, les immersants pourraient l'utiliser sans limitation de temps, à l'instar des jeux vidéo ou d'Internet. L'éventualité de voir des gens se retirer de la société pour lui préférer un monde artificiel automatisé n'est pas irréaliste. Les applications et les réseaux sociaux sont conçus de manière à exiger et à retenir notre attention⁶⁴ ; à l'intérieur d'un environnement contrôlé, produisant un effet analgésique non pharmacologique, la dépendance chronique et l'addiction constituent des menaces bien réelles.

Il est important de noter que, aux fins de la présente analyse, les psychologues du comportement utilisent la RV pour visualiser la causalité ou le comportement correctif, de manière que les personnes puissent décider (recourir à l'agentivité) de modifier leur propre comportement pour le bien commun. Dans ce cadre, le consentement est une exigence implicite ; si les personnes ne cherchent pas à modifier leur profil psychologique de la manière visée par les interventions de RV, ces interventions seraient considérées comme une violation de leur autonomie.

La coercition et la tromperie sont les marques d'une technologie persuasive, dépourvue de normes éthiques, et la plasticité de l'esprit humain est essentielle pour le développement de la RV, en particulier lorsque ce développement vise des objectifs dangereux⁶⁵. Les applications commerciales des EV créent des possibilités nouvelles de publicité ciblée ou de « neuromarketing », attaquant par là l'autonomie mentale de l'individu. En suivant dans le détail les moindres mouvements d'une personne dans la RV, y compris les mouvements des yeux, les expressions involontaires du visage, et les autres indicateurs de ce que les chercheurs appellent les intentions élémentaires ou « intentions motrices »⁶⁶, les entreprises seront capables de collecter des informations sur les intérêts et les préférences d'une personne de manière totalement inédite⁶⁷.

Les modifications de comportement dans un environnement virtuel posent des problèmes éthiques ; les travaux de recherche montrent en effet que ces comportements peuvent avoir des conséquences importantes sur notre vie physique réelle ; ce fait prend de l'importance au fur et à mesure qu'un nombre croissant de transactions personnelles, médicales et financières se déroulent dans un environnement immatériel⁶⁸.

L'utilisation des mégadonnées pour « pousser » les utilisateurs à adopter un certain comportement (« Big Nudging ») à l'intérieur des EV pourrait produire des effets à long terme, voire causer des modifications jusque dans les mécanismes mentaux des utilisateurs. Les immersants devraient être informés du fait que, selon certaines recherches, les tactiques de publicité qui recourent à des technologies d'incarnation telles que la RV peuvent exercer une influence inconsciente puissante sur le comportement. Or, la RV a été imaginée, en tant que technologie de simulation humaine, bien avant que l'être humain acquière la capacité de communiquer par un tweet au métavers tout entier la moindre de ses réflexions. Son statut d'outil technologique a beaucoup mûri. De nos jours, grâce au rendu graphique à fréquence d'images élevée recourant à de multiples points stéréoscopiques, la RV égale la vitesse et la précision des capteurs et caméras robotisés. En modélisant le monde matériel, le

⁶⁴ Turel, O. *et al.*, « Examination of neural systems sub-serving Facebook addiction », *Psychological Reports*, 115(3), décembre 2014. DOI : 10.2466/18.PR0.115c31z8.

⁶⁵ Il existe une secte de contenu virtuel, connue sous le nom de « triade noire » (Paulus et Williams, 2002), qui se réfère au narcissisme, au machiavélisme et à la psychopathie, au sein de laquelle des personnes trouvent attirant de passer du temps dans des EV conçus pour récompenser les personnages qui manifestent des caractéristiques associées à la triade noire.

⁶⁶ Riva, G., *et al.*, « Affective Interactions Using Virtual Reality: The Link between Presence and Emotions », *CyberPsy & Beh* vol. 10(1), 2007. DOI : 10.1089/cpb.2006.9993.

⁶⁷ Coyle, J.R., et Thorson, E., « The Effects of Progressive Levels of Interactivity and Vividness in Web Marketing Sites », *Journal of Advertising* 30(3) : 65-77, octobre 2001. DOI : 10.1080/00913367.2001.10673646.

⁶⁸ Madary, M., « Intentionality and virtual objects: the case of Qiu Chengwei's dragon sabre », *Ethics Inf. Technol.* 16, 2014, 219-225. DOI :10.1007/s10676-014-9347-4.

mouvement et les interactions physiques, la RV pourra entraîner des automates — robots, drones et outils de diagnostic — avant qu'ils soient appelés à intervenir dans le monde réel⁶⁹. C'est un petit pas pour la robotique, mais qui présage un bond bien plus considérable pour l'intelligence artificielle⁷⁰ et augmentée⁷¹.

Les avancées récentes font entrevoir une combinaison, potentiellement déstabilisante, de la réalité virtuelle et de l'intelligence artificielle, qui ouvrirait la porte à un avenir où des machines intelligentes, sûres et compétentes, pourraient apprendre de manière indépendante et exponentielle grâce à des simulations intelligentes et réalistes. Une formation automatisée, plus rapide qu'en temps réel et combinée à des simulateurs intelligents de RV, pourrait représenter le degré ultime de l'apprentissage machine⁷². Des simulations virtuelles fondées sur l'intelligence artificielle sont déjà capables de prédire des problèmes courants touchant à tous les domaines, des changements climatiques⁷³ aux conflits planétaires⁷⁴. Les modèles experts d'apprentissage machine auront un accès toujours plus grand à une quantité énorme de données interactives de formation, sous forme de RV, nécessaires pour leur permettre de devenir des systèmes d'apprentissage experts et, à terme, des agents intelligents utiles avec des avancées exponentielles et déstabilisantes⁷⁵.

Pour le CICR, un futur sans limites

Il existe un concept informatique, dit « monde miroir », dont on peut faire remonter l'origine aux années 1960, lorsque la NASA conservait sur Terre un double exact de chaque engin lancé dans l'espace, afin de pouvoir localiser les pannes de tout composant. Avec le temps, ces doubles mécaniques sont devenus des simulations informatiques, ou des jumeaux numériques. La création de jumeaux numériques a ensuite donné lieu à la création d'environnements, de villes et de paysages entiers, répliqués de manière virtuelle.

Le « monde miroir » envisagé dans l'avenir serait une carte virtuelle correspondant point par point à la réalité. Il serait accessible par toute expérience de XR et constituerait une réplique exacte et fonctionnelle, créée par ordinateur, de la vie telle que nous la connaissons ; elle refléterait non seulement l'apparence des choses, mais recréerait son contexte, son sens et sa fonction. En revêtant un dispositif de RA ou de RM, vous pourriez, en tournant la tête, voir une baleine virtuelle nageant de l'autre côté de la fenêtre de votre bureau. En revêtant un dispositif de RV, vous pourriez nager aux côtés d'une baleine en plein océan. Dans le monde miroir, vous pourriez être la baleine en train d'observer un avatar de vous-même assis à votre bureau.

Aujourd'hui, la science peut décrire de manière détaillée les événements qui se déroulent dans le cerveau humain en situation de RV. Sur le plan physiologique, le cerveau et les organes sensoriels s'engagent dans une boucle sensori-motrice pour appréhender un environnement factice à partir de

⁶⁹ Solotko, S. « Virtual Reality is the Next Training Ground for Artificial Intelligence », *Tirias Research*, octobre 2017.

⁷⁰ La théorie et le développement de systèmes informatiques capables d'accomplir des tâches qui exigent en principe une intelligence humaine.

⁷¹ Qui insiste sur le fait que la technologie cognitive est conçue non pas pour remplacer l'intelligence humaine (à l'instar de l'IA), mais plutôt pour l'améliorer.

⁷² Jaderberg, M. *et al.*, « Human-level performance in 3D multiplayer games with population-based reinforcement learning », *Science*, 31 mai 2019, vol. 364, n° 6443, 859-865. DOI : 10.1126/science.aau6249.

⁷³ Schmidt, V. *et al.*, « Visualizing the Consequences of Climate Change Using Cycle-Consistent Adversarial Networks », *Computer Vision and Pattern Recognition*, mai 2019. arXiv:1905.03709.

⁷⁴ Olsher, D.J., « New AI Tools for Deep Conflict Resolution and Humanitarian Response », *Procedia Engineering* 107 (2015) 282-292. DOI : 10.1016/j.proeng.2015.06.083.

⁷⁵ Culp, Steve, « Virtual Reality Plus Artificial Intelligence Can Transform Risk Management », *Forbes Magazine*, avril 2018.

signaux haptiques et auditifs⁷⁶. Le sujet peut ressentir un creux à l'estomac lorsque l'hippocampe cérébral s'efforce de réguler le brusque changement spatial⁷⁷. L'esprit abstrait se sépare de la forme corporelle lorsque la *flexibilité homonculaire* entre en jeu, pour apprendre rapidement à maîtriser un corps virtuel nouveau et peu familier alors même que l'ordinateur modifie continuellement la relation entre le mouvement suivi et le mouvement rendu⁷⁸. Les voies neuronales et les décharges synaptiques dans le cerveau changent de configuration lorsqu'une perturbation spatiale exige de trouver de nouvelles voies, faisant appel à d'autres sens, comme l'ouïe ou les marqueurs temporels, pour évoluer au sein d'un monde nouveau⁷⁹.

Les chercheurs sont persuadés qu'à l'image de la peau exposée au soleil, le cerveau placé dans un environnement virtuel est extrêmement vulnérable. L'efficacité de la RV est hors de doute. De nombreux travaux de recherche démontrent qu'elle est capable de dominer, de modifier et de violer l'autonomie d'une personne, mais qu'elle est aussi, plus que toute autre technologie, éminemment capable de susciter l'empathie, l'émotion, la sollicitude et l'imagination. Comprendre les enjeux de la RV est crucial ; elle pourrait être utile au CICR de diverses manières, depuis la prévision de ripostes critiques à des scénarios de conflit en milieu urbain, ou de la préparation d'options de réponse aux catastrophes, jusqu'à la mise en rapport des populations les plus isolées avec les dispositifs d'information et d'éducation les plus avancés, en passant par des tests de la programmation de l'IA dans les armes automatiques. Pressez tout simplement sur « Enter ». Et recommencez.

⁷⁶ Banos, R.M. *et al.*, « Transforming Experience: The Potential of Augmented Reality and Virtual Reality for Enhancing Personal and Clinical Change », *Front Psychiatry* 7: 164, 30 septembre 2016. DOI : 10.3389/fpsy.2016.00164.

⁷⁷ Banos *et al.*, 2016. Coyle et Thorson, 2001. Cummings et Bailenson, 2016.

⁷⁸ Yee et Bailenson, 2007.

⁷⁹ El Beheiry, M. *et al.*, 2019.