

MÉDITATION GUIDÉE EN RÉALITÉ VIRTUELLE IMMERSIVE : UNE ÉTUDE PILOTE COMPARATIVE AUPRÈS D'UNE POPULATION ADULTE SAINTE

*Milena Broillet¹

1. Mémoire de Bachelor, Unité de psychologie clinique et de la santé, département de psychologie, université de Fribourg

***Auteure correspondante** : Milena Broillet milena.broillet@unifr.ch

Citation : Broillet, M. (2025). Méditation guidée en réalité virtuelle immersive : une étude pilote comparative auprès d'une population adulte saine. *Cortica*, 4(2) 215-254. <https://doi.org/10.26034/cortica.2025.8565>

Résumé

La méditation de pleine conscience (MPC) et ses programmes thérapeutiques dérivés sont reconnus pour leurs effets positifs sur la santé mentale, notamment dans le traitement de l'anxiété, de la dépression et du stress. Des études antérieures ont montré que grâce au développement des technologies immersives, la réalité virtuelle (RV) pourrait être un outil prometteur permettant de renforcer l'engagement et l'accessibilité de la pratique méditative, tant pour les populations cliniques que non cliniques. Ce projet vise à comprendre l'effet de cette association au moyen d'indicateurs comportementaux et physiologiques sur le bien-être d'adultes en bonne santé et d'analyser l'expérience utilisateur·trice. Pour ce faire, la recherche a été menée selon une méthodologie expérimentale où 48 participant·e·s ont été réparti·e·s aléatoirement dans deux conditions : l'une étant une séance unique de MPC guidée réalisée en RV et l'autre une séance unique de MPC audiovisuelle équivalente présentée via un écran d'ordinateur. Des données subjectives (questionnaires d'anxiété, d'affect et de pleine conscience) et physiologiques ont été recueillies avant et après la séance. Globalement, les résultats révèlent un effet de la méditation, indépendamment du type de support, suggérant que la pratique en elle-même engendre des effets positifs immédiats. Toutefois aucun effet significatif entre les conditions n'a été observé, ce qui sous-entend que le type de dispositif n'influence pas l'efficacité de la séance. Les participant·e·s ont perçu la RV comme satisfaisante, permettant ainsi de soutenir son intérêt potentiel en contexte

thérapeutique. Ces résultats encouragent l'exploration de la RV comme modalité alternative de diffusion de la méditation, tout en soulignant la nécessité d'investigations supplémentaires pour approfondir la compréhension des mécanismes de cette association et évaluer ses effets à long terme.

Mots-clés : réalité virtuelle, méditation de pleine conscience, expérience immersive, mesures physiologiques

Abstract

Mindfulness meditation and its derivative therapeutic programs are recognized for their positive effects on mental health, particularly in the treatment of anxiety, depression, and stress. Previous studies have shown that, thanks to the development of immersive technologies, virtual reality (VR) could be a promising tool for increasing engagement and accessibility to meditation practice, both for clinical and non-clinical populations. This project aims to understand the effect of this combination on the well-being of healthy adults using behavioral and physiological indicators and to analyze the user experience. To do this, the research was conducted using an experimental methodology in which 48 participants were randomly assigned to two conditions: one being a single guided mindfulness meditation session conducted in VR and the other a single equivalent audiovisual mindfulness meditation session presented via a computer screen. Subjective data (questionnaires on anxiety, affect, and mindfulness) and physiological data were collected before and after the session. Overall, the results reveal an effect of meditation, regardless of the type of medium, suggesting that the practice itself generates immediate positive effects. However, no significant effect between conditions was observed, implying that the type of device does not influence the effectiveness of the session. Participants perceived VR as satisfactory, supporting its potential value in a therapeutic context. These results encourage the exploration of VR as an alternative modality for delivering meditation, while highlighting the need for further investigation to deepen understanding of the mechanisms of this association and evaluate its long-term effects.

Keywords: virtual reality, mindfulness meditation, immersive experience, physiological measures

(Traduction réalisée avec l'aide de Deepl, 8 décembre 2025)

Introduction

Pratique millénaire aux bénéfices thérapeutiques bien établis (Baer, 2003 ; Bishop et al., 2004 ; Kabat-Zinn, 2003 ; Keng et al., 2011 ; Fairburn & Patel, 2017 ; Srivastava & coll, 2020), la méditation de pleine conscience (MPC) s'hybride désormais avec les dispositifs immersifs de réalité virtuelle (RV). Cette convergence technologique ouvre un nouveau champ de recherche et pourrait marquer un tournant dans la compréhension, la diffusion et l'efficacité des programmes de pleine conscience (Freeman et al., 2017; Navarro-Haro et al., 2017; Poetar et al., 2023; Riches et al., 2021, 2023, 2024).

L'enjeu central de la présente recherche consiste à évaluer dans quelle mesure la RV peut optimiser la pratique de la MPC et, de ce fait, amplifier les bénéfices psychologiques et physiologiques. La MPC est aujourd'hui reconnue pour ses bienfaits sur la santé mentale (Wielgosz et al., 2019). Des études ont démontré son efficacité dans des pathologies telles que le stress chronique, la dépression et l'anxiété (Baer, 2003 ; Chiesa et al., 2010 ; González-Valero et al., 2019 ; Goyal et al., 2014 ; Sipe et al., 2012), avec une efficacité comparable à celle des traitements médicamenteux dans certains cas d'anxiété (Hoge et al., 2023). Cependant, la MPC ne s'applique pas à tout le monde (Landmann et al., 2020 ; Nyklíček et al., 2016 ; Riches et al., 2024 ; Zhang et al., 2018). En effet, cette pratique exige une attention soutenue et un sentiment de présence particulièrement difficile à maintenir, notamment pour les novices ou les personnes ayant des limitations cognitives (Seabrook et al., 2020). La RV serait susceptible d'améliorer l'immersion des utilisateur·trice·s dans des environnements interactifs procurant ainsi un fort sentiment de présence sans mobiliser excessivement les ressources cognitives (Gao et al., 2024 ; Ma et al., 2023).

Cette étude pilote a pour objectif d'examiner dans quelle mesure la réalité virtuelle pourrait enrichir les interventions en santé mentale et ouvrir de nouvelles perspectives thérapeutiques. Cette technologie est déjà utilisée avec succès pour traiter des troubles tels que l'anxiété ou les phobies spécifiques via l'exposition progressive à des situations anxiogènes (Fairburn & Patel, 2017 ; Maples-Keller et al., 2017 ; Srivastava & coll, 2020). Selon Navarro et al. (2017), l'intégration de la RV à la méditation pourrait offrir une pratique plus efficace et accessible à une plus large population clinique ou non clinique, par exemple pour les personnes rencontrant des difficultés à se concentrer ou à s'engager dans des approches traditionnelles.

Bien que prometteuse, l'utilisation de la RV pour soutenir la pratique de la méditation de pleine conscience reste un domaine émergent. Malgré des études pilotes encourageantes, des travaux supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats et réduire les biais méthodologiques. En effet, la recherche nécessite davantage de données empiriques et d'investigations approfondies

sur les mécanismes sous-jacents pour pouvoir affirmer avec certitude les effets positifs de la RV sur les pratiques de MPC (Riches et al., 2024 ; Wieczorek et al., 2024). La présente étude pilote vise à approfondir la compréhension des connaissances sur les fondements psychologiques et physiologiques de la MPC en RV immersive (Wieczorek et al., 2024). Plus précisément, elle poursuit deux objectifs : (1) évaluer, au moyen d'indicateurs comportementaux et physiologiques, l'effet immédiat d'une séance de méditation guidée en RV sur le bien-être d'adultes en bonne santé ; (2) analyser l'expérience utilisateur·trice afin de cerner la manière dont cette modalité technologique est perçue et vécue par les participant·e·s. Pour répondre à cette question, le contexte théorique de cette étude est présenté, puis la méthodologie est détaillée. Ensuite, les résultats sont exposés avant d'être discutés à la lumière de la littérature déjà existante. Enfin, les implications de cette recherche pour les pratiques futures en santé mentale sont soulignées.

Contexte théorique

La méditation de pleine conscience (MPC)

La méditation basée sur la pleine conscience est une pratique qui suscite un intérêt croissant en psychologie, notamment en raison de ses effets bénéfiques sur la santé, tant au sein de populations saines que cliniques (Baer, 2003 ; Chiesa et al., 2010 ; Goyal et al., 2014 ; Khoury et al., 2013, 2015 ; Riegner et al., 2025 ; Wielgosz et al., 2019). Cependant, bien que ses bienfaits soient de plus en plus reconnus, son intégration dans les cadres thérapeutiques demeure relativement récente. De ce fait, il est donc essentiel de poursuivre les recherches afin de mieux comprendre ses mécanismes et d'enrichir les connaissances actuelles (Chiesa et al., 2010 ; González-Valero et al., 2019 ; Goyal et al., 2014 ; Sipe et al., 2012 ; Wielgosz et al., 2019).

Définitions et origines. Selon Kabat-Zinn (2003), la pleine conscience se définit comme « la conscience qui émerge lorsqu'on porte son attention intentionnellement, dans le moment présent et sans jugement sur l'expérience qui se déploie moment après moment » (p.145). Cette définition souligne trois notions fondamentales : (1) L'intentionnalité, qui implique le choix délibéré de focaliser son attention sur des sensations internes ou externes ; (2) L'ancrage dans l'instant, c'est à dire la capacité à demeurer pleinement conscient·e de l'ici et maintenant, sans que l'esprit ne vagabonde vers le passé ou l'avenir (De Paula & Moretti, 2021) ; (3) L'attitude non-jugeante consiste à observer les pensées, émotions et perceptions sans leur attribuer de jugement de valeur ni chercher à les modifier (Baer, 2003). Dans ce contexte, Kabat-Zinn (2003) précise par ailleurs que la pleine conscience est une compétence qui se cultive progressivement au gré d'une pratique régulière, et qu'elle constitue avant tout une manière d'être. Inscrite dans une vaste famille de pratiques, elle

trouve ses racines dans les traditions contemplatives bouddhistes et est considérée comme le « cœur » de la méditation bouddhiste (Thera, 1962, cité dans Kabat-Zinn, 2003). Elle a par la suite été adaptée à un cadre laïc et intégrée aux approches psychothérapeutiques contemporaines. Dans cette tradition, le ou la pratiquant·e est décrit·e comme « un·e médecin de l'esprit », possédant comme unique outil son propre esprit, son corps et son vécu (Baer, 2003 ; Kabat-Zinn, 2003). En revanche, Kabat-Zinn (2003) insiste sur la portée universelle de la pleine conscience, puisqu'elle est directement liée à l'attention, fonction cognitive accessible à tous les êtres humains. Selon lui, les traditions bouddhistes ont simplement systématisé et enrichi cette compétence en mettant en lumière des méthodes simples et efficaces pour la cultiver.

Au cours des 40 dernières années, la MPC a gagné en popularité en Occident, notamment à travers des retraites de méditation intensives et des programmes structurés (Goldstein, 2002, cité dans Kabat-Zinn 2003). Cette effervescence a mené à des recherches scientifiques, d'abord descriptives, puis davantage expérimentales (Kabat-Zinn, 2003 ; Van Dam et al., 2018 ; Wielgosz et al., 2019).

En 1979, Jon Kabat-Zinn développe le programme de réduction du stress basé sur la pleine conscience (*Mindfulness-Based Stress Reduction, MBSR*) à l'Université du Massachusetts, utilisé dans le but de réduire le stress, les douleurs chroniques et l'anxiété (Kabat-Zinn, 2003 ; Van Dam et al., 2018 ; Williams & Kabat-Zinn, 2011). Ce programme est conçu afin d'étendre l'utilisation de la MPC dans un cadre thérapeutique. Bien que les racines de la pleine conscience restent spirituelles, la MBSR demeure strictement laïc et scientifiquement testée (Kabat-Zinn, 2003 ; Wielgosz et al., 2019 ; Williams & Kabat-Zinn, 2011). Par la suite, des dérivés de cette technique, comme la thérapie cognitive basée sur la pleine conscience (*Mindfulness-Based Cognitive Therapy, MBCT*), ont été créés pour prévenir les rechutes dépressives (Segal et al. 2002, cité dans Wielgosz et al., 2019).

Principes fondamentaux Il est vrai que le caractère spirituel de la pleine conscience contribue à l'absence de consensus scientifique notable (Kabat-Zinn, 2003 ; Van Dam et al., 2018). Cependant, les efforts des pionnier·ère·s de la MPC pour formaliser cette pratique ont conduit à des résultats prometteurs et significatifs (Chiesa et al., 2010 ; Baer, 2003 ; Goyal et al., 2014 ; Kabat-Zinn, 2003 ; Khoury et al., 2013; Sipe et al., 2012). De ce fait, il est essentiel de souligner que les fondements de la MPC reposent sur un ensemble de capacités psychologiques fondamentales, interconnectées et renforcées par la formation en MPC (Kabat-Zinn, 2003 ; Lutz et al., 2015 ; Wielgosz et al., 2019). Parmi ces compétences, la métacognition joue un rôle clé. Elle désigne la capacité à observer et à réguler ses propres processus mentaux, afin de favoriser une meilleure gestion de l'attention et des distractions (Schooler et al., 2011, cité dans Wielgosz et al., 2019). Dans

le contexte de la MPC, cette aptitude permet d'identifier les moments de dispersion cognitive et de ramener l'attention sur la tâche, tout en développant une conscience de la qualité de l'attention et des états affectifs qui l'accompagnent (Wielgosz et al., 2019). Un autre principe fondamental est la conscience centrée sur le présent, qui se définit « comme la capacité à maintenir son attention sur l'instant présent, sans se laisser entraîner par des pensées liées au passé ou à l'avenir, notamment par des voyages temporels mentaux ou des souvenirs épisodiques, prospectifs ou rétrospectifs » (Suddendorf & Corballis, 2007, cité dans Wielgosz et al., 2019, p.4). La non-réactivité à l'expérience est aussi un concept central de la MPC. Elle se traduit par une attitude d'acceptation et de détachement vis-à-vis des stimuli internes et externes, permettant de ne pas réagir de manière aversive aux pensées, émotions ou sensations perçues pendant la pratique (Lutz et al., 2015). Kabat-Zinn (2003) définit cette attitude comme « neutre », « curieuse », « acceptante » et « non jugeante ». D'autres capacités essentielles sont censées être développées au cours de la formation des praticien·ne·s, notamment la déréification et la compassion. La déréification correspond à la prise de conscience que les pensées, mêmes envahissantes, ne sont que des constructions mentales et non une réalité objective, favorisant ainsi une distanciation cognitive bénéfique pour la pratique. L'intégration de ces différentes compétences vise à renforcer l'équilibre émotionnel et cognitif du ou de la praticien·ne et à favoriser une perception plus apaisée du soi (Wielgosz et al., 2019).

D'un point de vue cognitif, la pleine conscience repose sur plusieurs fonctions exécutives de haut niveau, parmi lesquelles la mémoire de travail, le contrôle attentionnel et les mécanismes d'inhibition. Ces fonctions permettent au ou à la praticien·ne de maintenir son attention sur l'expérience de pleine conscience immédiate tout en observant, puis inhibant efficacement les interférences cognitives. Enfin, la recherche en neurosciences distingue deux styles majeurs de méditation en MPC : l'attention focalisée et la surveillance ouverte (Lutz et al., 2008, 2015). L'attention focalisée consiste à diriger et à maintenir son attention sur un objet précis, tel que la respiration ou une sensation corporelle, tandis que la surveillance ouverte vise à accueillir l'ensemble des expériences présentes sans s'attacher à un élément spécifique. Ces deux approches sont souvent complémentaires dans la progression des pratiquant·e·s bien qu'il soit préférable de débuter par le style de l'attention focalisée (Lutz et al., 2008, 2015).

Bienfaits sur la santé mentale. Les thérapies basées sur la pleine conscience suscitent un intérêt croissant en raison de leurs effets bénéfiques sur la santé mentale, tant dans les populations cliniques que chez les individus en bonne santé (Chiesa & Serretti, 2010 ; Goldberg et al., 2018 ; Goyal et al., 2014 ; Keng et al., 2011 ; Sipe & Eseindrath, 2012 ; Wielgosz et al., 2019). Jusqu'à présent, les avancées scientifiques se sont concentrées plus profondément sur les troubles

dépressifs. Parmi les découvertes majeures, la MBCT s'est révélée efficace dans la prévention des rechutes dépressives, démontrant une efficacité similaire aux antidépresseurs d'entretien. Cela suggère que la MBCT pourrait constituer une alternative thérapeutique aux traitements pharmacologiques. En outre, les recherches observent des potentiels effets prometteurs dans le traitement de la dépression active, y compris chez les patient·e·s présentant une résistance aux traitements conventionnels (Kuyken et al., 2016 ; Sipe & Eisendrath, 2012). En revanche, l'efficacité de la pleine conscience dans le cadre des troubles anxieux se voit moins documentée, notamment en raison de l'absence de thérapies standardisées spécifiquement adaptées à ces troubles (Sipe & Eisendrath, 2012 ; Wielgosz et al., 2019). Cependant, des études récentes ont révélé un potentiel thérapeutique de la MBSR tout de même intéressant. Par exemple, un essai clinique randomisé mené par Hoge et al. (2023) indique que la MBSR a un effet positif égal, voir supérieur à l'escitalopram, traitement pharmacologique de référence pour les troubles anxieux. Au-delà des troubles dépressifs et anxieux, la pleine conscience est également étudiée pour d'autres pathologies. Les douleurs chroniques et les troubles liés à la consommation de substances semblent être des domaines où la MPC pourrait s'avérer particulièrement pertinente (Chiesa & Serretti, 2010 ; Goldberg et al., 2018 ; Wielgosz et al., 2019).

Par ailleurs, dans les populations non cliniques, la pleine conscience semble également produire des effets bénéfiques. González-Valero et al. (2019) soulignent notamment l'efficacité des interventions à long terme (env. 9 semaines) de la MBSR sur la réduction du stress et des symptômes dépressifs chez les étudiant·e·s universitaires. De plus, ces améliorations sont positivement corrélées avec une meilleure réussite académique. De surcroît, Lykins et Baer, (2009) cités dans Keng et al. (2011) rapportent que les praticien·ne·s régulier·ère·s présentent des niveaux plus élevés de sentiment de bien-être général par rapport aux non-méditant·e·s, tout en affichant des niveaux plus faibles de pensées intrusives ou négatives et de difficultés de régulation émotionnelle (Keng et al., 2011). Cependant, la MPC ne convient pas à tous les profils ni à toutes les pathologies. Par exemple, son efficacité semble limitée chez les personnes atteintes de trouble de l'attention avec hyperactivité (TDAH) (Zhang et al., 2018), ou de trouble obsessionnel compulsif (TOC) (Landmann et al., 2020). De plus, l'étude expérimentale menée par Nyklíček et al. 2016 indique que les hommes et les individus extravertis pourraient tirer moins de bénéfices de ces pratiques. Ces résultats mettent en évidence la nécessité d'affiner les protocoles. En effet, malgré des avancées notables, la littérature scientifique souffre encore de limitations méthodologiques et d'un manque d'études expérimentales robustes. Il est donc essentiel de poursuivre les investigations afin d'identifier les profils de patient·e·s les plus susceptibles de bénéficier de cette approche (Chiesa & Serretti, 2010 ; Goyal et al., 2014 ; Van Dam et al., 2018).

La réalité virtuelle (RV)

Bien que la RV soit utilisée en psychologie depuis les années 1980, ce n'est que récemment que ses applications cliniques ont fait l'objet d'investigations approfondies (De Paula & Moretti, 2021). Cette évolution marque une nouvelle ère de transformation dans les domaines de la santé mentale et physique. La RV représente un outil innovant en matière de diagnostic, de traitement, de rééducation ainsi que de réhabilitation. De plus, elle permet également d'améliorer l'accessibilité aux soins en santé mentale, notamment pour les populations isolées ou à mobilité réduite. Parmi ces avancées, la RV suscite un intérêt croissant au sein de la communauté scientifique pour son potentiel dans le traitement des troubles psychiatriques (Fairburn & Patel, 2017 ; Srivastava et al., 2020).

Définitions et caractéristiques. Selon Schultheis et Rizzo (2001, p.2), la RV désigne « une forme avancée d'interface homme- machine permettant à l'utilisateur·trice d'interagir et de s'immerger dans un environnement virtuel reflétant la réalité ». La simulation virtuelle de l'environnement réel en 3D stimule de multiples modalités sensorielles telles que visuelles, auditives, ou haptiques, augmentant ainsi la sensation d'immersion (Dascal et al., 2017 ; S & Ce, 2021). Le sentiment de présence est favorisé par la conception technologique de la RV. Par exemple, les visiocasques permettent de se déplacer et visualiser le panorama à 360 degrés tout en restant attaché aux yeux des utilisateur·trice·s. Ainsi, ils ou elles ont l'impression de faire partie intégrante de l'environnement. Dans le même principe, des méthodes de navigation et d'interaction telles que des écouteurs ou des joysticks permettent de renforcer davantage le réalisme et l'interaction de l'utilisateur·trice avec l'environnement virtuel (Schultheis & Rizzo, 2001 ; Ventura et al., 2019).

Cette nouvelle technologie présente néanmoins certaines limites et contraintes d'ordre technologique, bien que non généralisable à l'entièreté de la population. Tout d'abord, l'un des obstacles le plus fréquemment rapporté est le mal des transports en RV, appelé cybersickness. Contrairement au mal des transports classique, il ne nécessite pas de mouvement réel, car il résulte d'un décalage entre la perception visuelle du mouvement et l'absence de stimulation vestibulaire correspondante (Dascal et al., 2017 ; Malińska et al., 2015 ; Park et al., 2019). La cybersickness peut entraîner des symptômes tels que des vertiges, nausées, maux de tête ou une gêne visuelle. La qualité du matériel, la durée d'exposition, l'éclairage ou encore la stabilité des images influencent directement l'apparition de ces symptômes (Dascal et al., 2017 ; Malińska et al., 2015 ; Park et al., 2019). Ensuite, les contraintes techniques telles que l'ergonomie du casque, la difficulté d'exécution de certains mouvements périphériques ou encore le poids des lunettes peuvent rendre l'expérience inconfortable (Dascal et al., 2017 ; Schultheis & Rizzo, 2001). Historiquement, l'accessibilité de la

RV était limitée en raison du budget élevé des plateformes et d'une complexité d'installation. Toutefois, une baisse significative des prix et une simplification des systèmes ont été observées durant ces dernières années. Ces phénomènes ont permis de rendre la technologie RV plus accessible au grand public et à la recherche (Dascal et al., 2017 ; Maples-Keller et al., 2017 ; Riches et al., 2021, 2024 ; S & Ce, 2021).

Applications et utilité dans le domaine de la santé. Comme mentionné précédemment, la RV est un outil clinique innovant, qui commence tout juste à être utilisé comme traitement psychologique. L'utilisation de la RV est déjà bien implantée dans le cadre du traitement des troubles anxieux, tels que les phobies spécifiques ou le trouble du stress post-traumatique, via la thérapie d'exposition. La RV est perçue comme un outil de simulation de l'environnement anxiogène, permettant ainsi aux patient·e·s d'être confronté·e·s de manière sûre et contrôlée à leurs peurs ou situations traumatisantes et de modifier leurs schémas mentaux. La thérapie d'exposition démontre une forte diminution des symptômes anxieux si bien qu'une efficacité similaire à celle des interventions d'exposition traditionnelles est connue (Maples-Keller et al., 2017 ; Park et al., 2019). Les bienfaits de l'utilisation de la RV ne s'arrêtent pas là, puisque plusieurs recherches montrent l'intérêt croissant de son implication dans le traitement de beaucoup d'autres pathologies psychiatriques. La RV permet d'améliorer les compétences sociales des patient·e·s atteint·e·s de schizophrénie, de traiter la vision des distorsions de l'image corporelle dans les pathologies alimentaires, ou encore d'identifier les moments susceptibles de réactiver l'envie de consommation et de les traiter dans les cas de dépendance aux substances (Maples-Keller et al., 2017 ; Park et al., 2019). De plus, la RV semble également utile dans les traitements de gestion des douleurs aigües et chroniques. En effet, elle permet de détourner l'attention consciente des patient·e·s lors de procédures douloureuses comme la chimiothérapie, le traitement des brûlures, la physiothérapie et d'autres soins inconfortables (Dascal et al., 2017 ; Schultheis & Rizzo, 2001). Des exercices de pleine conscience en RV ont été développés comme traitement supplémentaire des douleurs chroniques. Les résultats suggèrent que la RV pourrait être un complément considérable aux traitements pharmacologiques standards de la douleur et ainsi contribuer à réduire l'intensité de la douleur (Maples-Keller et al., 2017). Enfin, la RV offre de nouvelles possibilités en rééducation motrice et en neuropsychologie. Elle permet d'évaluer de manière objective les capacités cognitives et motrices au sein d'environnements immersifs, tout en garantissant un contrôle et une sécurité expérimental sur l'exposition aux stimuli et leur évaluation. Cette technologie propose une approche personnalisée aux besoins de chaque individu, tout en assurant une standardisation des protocoles d'évaluation et de rééducation. (Dascal et al., 2017 ; Schultheis & Rizzo, 2001 ; Ventura et al., 2019).

En définitive, l'utilisation de la RV s'annonce prometteuse dans le domaine de la santé mais requiert des recherches approfondies afin de développer des protocoles valides, clairs et efficaces.

Association entre la méditation de pleine conscience et la RV

L'Office fédéral de la statistique (OFS) (2025) relate que 18% de la population présente des symptômes de détresse psychologique, liés à l'épuisement professionnel et à des troubles tels que le stress chronique, la dépression et l'anxiété. Cette tendance traduit un besoin nécessaire de trouver des solutions pour réduire ces chiffres et améliorer la qualité de vie de la population. Au vu des avantages considérables de la pratique de la MPC dans ces pathologies, une approche potentielle serait de trouver un moyen de palier aux limites de la MPC. Bien que la recherche concernant l'intégration de la RV à la pratique de la MPC soit encore émergente, les premières recherchent suggèrent des effets favorables. Cette avancée s'explique en partie par l'accessibilité croissante des équipements de RV, qui favorise leur diffusion dans les milieux cliniques comme non cliniques (De Paula & Moretti, 2021).

Potentiel de la RV pour améliorer la pratique méditative. La pratique de la MPC peut être complexe, notamment à cause des distractions environnementales et personnelles, considérées comme des obstacles (Seabrook et al., 2020). Grâce à son environnement immersif et interactif, la RV favorise le sentiment de présence, un élément fondateur de la MPC. En effet, ce sentiment permet à l'utilisateur·trice de se plonger plus facilement dans l'instant présent. Dans cette même logique, la RV aide à ignorer les pensées intrusives ainsi que le vagabondage mental (Seabrook et al., 2020). En effet, les participant·e·s à l'étude de Seabrook et al. (2020) ont d'ailleurs rapporté que les éléments visuels et auditifs amenés par la RV leur servaient d'ancrages attentionnels, les aidant à maintenir leur concentration. La forte demande attentionnelle de la MPC s'avère être un vrai défi, perçue comme difficile ou ennuyante, surtout pour les débutant·e·s ou les personnes souffrant de troubles psychiques. De plus, la RV, en mobilisant fortement les ressources attentionnelles, rend l'expérience plus engageante et limite les risques d'ennui ou d'abandon prématuré. Contrairement à la méditation traditionnelle, où le manque de stimulations sensorielles peut entraîner une baisse de vigilance, l'environnement virtuel enrichit l'expérience en captant davantage l'attention. Ainsi, la RV pourrait rendre la pleine conscience plus accessible et améliorer la qualité de la pratique, en particulier pour les personnes inexpérimentées ou les populations ayant des difficultés à maintenir leur concentration (Navarro-Haro et al., 2017). Toutefois, les mécanismes par lesquels la RV influence la pratique de la MPC, de manière positive ou négative, restent encore flous et insuffisamment compris pour permettre d'en tirer une conclusion objective et d'envisager une application à grande échelle (De Paula & Moretti, 2021 ; Seabrook et al., 2020).

Résultats des études préliminaires et leurs limites. Parmi les résultats observés dans la littérature, la majorité des études souligne des effets prometteurs de l'association entre la RV et la MPC (Cawley & Tejeiro, 2024 ; Ch et al., 2023 ; Gao et al., 2024 ; Mistry et al., 2020 ; Modrego-Alarcón et al., 2021 ; Navarro-Haro et al., 2017 ; Poetar et al., 2023 ; Seabrook et al., 2020). Par exemple, Navarro-Haro et al. (2017) ont évalué l'acceptabilité, la faisabilité et l'humeur auprès des méditant·e·s expérimenté·e·s concernant l'effet de la RV sur la MPC. Ces dernier·ère·s se sont montré·e·s enthousiastes à l'égard de la méthode de diffusion en RV. Les résultats indiquent une réduction des états émotionnels négatifs et une augmentation significative de l'état de pleine conscience.

Du côté de la population étudiante, un essai contrôlé randomisé a comparé l'efficacité d'un programme de méditation de pleine conscience avec et sans RV pour réduire le stress chez les étudiant·e·s. L'ajout de la RV améliorait significativement la réduction du stress, l'engagement et les compétences en pleine conscience (Modrego-Alarcón et al., 2021). En complément, l'étude de Cawley et Tejeiro (2024) confirme que même une courte session de méditation en RV est plus efficace que la méditation audio ou le coloriage pour diminuer le stress et favoriser le bien-être émotionnel. L'étude de Ch et al. (2023), effectuée pendant la COVID-19, souligne que l'immersion en nature virtuelle couplée à la pleine conscience réduit le stress, améliore la concentration et stimule la créativité chez les professionnels en télétravail. De leur côté, Gao et al. (2024) ont démontré l'effet positif de la RV sur la MPC chez les personnes âgées. En effet, les participant·e·s ont rapporté une réduction significative du stress, une amélioration de leur humeur et sentiment de relaxation, sans compter l'acceptation et l'engagement des personnes âgées vis-à-vis de cette méthode.

Enfin, Seabrook et al. (2020) ont évalué une application de MPC en RV dans un environnement contrôlé de laboratoire. Les participant·e·s ont rapporté un accroissement de leur état de pleine conscience et de leurs affects positifs, avec une stagnation des émotions négatives. Cependant, un essai contrôlé randomisé ultérieur mené par Poetar et al. (2023) indique que les émotions négatives diminuent, sans différence significative entre le groupe contrôle sur ordinateur et le groupe expérimental en RV. Les résultats concernant les émotions positives n'ont montré aucun effet significatif. Cette étude ne démontre donc pas d'avantages significatifs pour la MPC en RV. Des études pilotes ont montré que l'intégration de la RV dans la MPC pourrait également améliorer le bien-être des populations cliniques et ainsi compléter les approches thérapeutiques traditionnelles (Jo et al., 2024 ; Mistry et al., 2020 ; Navarro-Haro et al., 2019).

Bien que les résultats soient encourageants, les limites méthodologiques de ces études ainsi que les inconvénients de la RV restent considérables et méritent d'être soulignés. En raison de leur caractère récent et du nombre limité de recherches, ces études apportent avant tout des preuves préliminaires d'efficacité. Cependant, l'hétérogénéité des méthodologies complique la comparaison des résultats et rend l'analyse empirique difficile (Ma et al., 2023). De plus, les protocoles méthodologiques des essais contrôlés randomisés manquent de rigueur : l'absence de groupe témoin, le manque de mesures physiologiques objectives, ainsi que la forte hétérogénéité des données démographiques, des dispositifs technologiques et des procédures de RV (Failla et al., 2022 ; Riches et al., 2023). Certaines contraintes techniques de la RV sont également rapportées. Par exemple, dans l'étude de Seabrook et al. (2020), plusieurs participant·e·s ont signalé un inconfort lié au poids du casque et de la pression exercée sur la tête, ce qui souligne la nécessité d'améliorer l'ergonomie du dispositif.

L'utilisation des mesures physiologiques

Failla et al. (2022) assurent qu'il n'existe encore que très peu d'études intégrant des mesures physiologiques dans le cadre de la recherche sur la MPC associée à la RV. Pourtant, ces mesures s'avèrent particulièrement pertinentes, car elles permettent d'offrir des mesures objectives en complément des données subjectives auto-rapportées généralement utilisées (Failla et al., 2022 ; Jo et al., 2024 ; Riches et al., 2023). L'utilisation des mesures physiologiques offrirait une analyse plus nuancée et approfondie dans le contexte de la pratique de la méditation induite par la RV.

Système nerveux autonome. Le système nerveux autonome régule de manière involontaire les fonctions de l'organisme, telles que le rythme cardiaque, la respiration, le transit intestinal, la contraction de la vessie et la régulation de la température, en réponse aux stimuli environnementaux et internes (Gibbons, 2019 ; McCorry, 2007). Il se compose de deux sous-branches principales antagonistes : le système nerveux sympathique, associé aux réponses d'alerte et de survie (combat et fuite), et le système nerveux parasympathique, lié au système de régulation émotionnelle, de relaxation et de repos (repos et digestion) (Gibbons, 2019 ; McCorry, 2007). D'un point de vue physiologique, l'activation parasympathique se traduit par un ralentissement de la fréquence cardiaque, via la libération rapide d'acétylcholine. À l'inverse, l'activation sympathique, médiée par la noradrénaline, induit une accélération cardiaque plus lente à se dissiper (McCorry, 2007 ; Pumprla et al., 2002). Le nerf vague constitue le principal nerf du système nerveux parasympathique et est associé au tonus vagal. Il intervient lorsque l'organisme doit puiser dans ses réserves pendant les états les plus actifs (Grossman & Taylor, 2007, cité dans Laborde et al., 2017). Plusieurs recherches ont démontré que les MPC exerçaient un effet favorable sur l'activité du système nerveux (Blase &

van Wanig, 2019 ; C. Park et al., 2022 ; Morais et al., 2021 ; Pascoe et al., 2017). D'une part, la pratique de la méditation augmente l'activité du système nerveux parasympathique, suggérant un état de relaxation et d'apaisement élevé. Et d'autre part, les MPC réduisent l'activité du système sympathique, menant à une potentielle réduction du stress et de l'alerte.

Variabilité de la fréquence cardiaque (VFC). La variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) désigne les fluctuations des intervalles entre deux battements cardiaques successifs (Shaffer & Ginsberg, 2017). Une forte variabilité est généralement considérée comme un signe positif d'adaptabilité physiologique, permettant à l'organisme de répondre de manière flexible et rapide aux défis environnementaux et internes, qu'ils soient physiques ou psychologiques (Pumprla et al., 2002 ; Shaffer & Ginsberg, 2017). Elle indique habituellement une bonne santé et un fonctionnement optimal des mécanismes de régulation autonomes (Pumprla et al., 2002). En effet, la VFC est un reflet de l'équilibre dynamique et régulateur entre les deux sous branches sympathique et parasympathique du système nerveux autonome. La VFC est non linéaire et complexe tant au niveau temporel que spatial (Laborde et al., 2017 ; Shaffer & Ginsberg, 2017). Elle peut d'ailleurs être analysée sous deux angles distincts : temporel ou fréquentiel. Dans cette étude, l'analyse temporelle est privilégiée car elle est plus simple d'application et moins exigeante que l'analyse fréquentielle concernant le matériel de l'électrocardiogramme (ECG) (Pumprla et al., 2002).

Les indices physiologiques temporels. Les indices temporels de la VFC quantifient la variabilité des mesures de l'intervalle inter- battements, c'est à dire le temps entre deux battements cardiaques adjacents (Shaffer & Ginsberg, 2017). Considérée comme l'indicateur le plus global et connu de l'activité autonome, la fréquence cardiaque moyenne (ECG Rate Mean) correspond au nombre de battements cardiaques par minute. L'unité de mesure correspond aux battements par minute (bpm) (Morais et al., 2021 ; Shaffer & Ginsberg, 2017). Une fréquence cardiaque élevée est généralement associée à un état de stress ou d'activation sympathique importante. Au contraire, la diminution de la fréquence cardiaque peut être interprétée comme un signe de relaxation et de dominance parasympathique (Jo et al., 2024 ; Morais et al., 2021 ; Shaffer & Ginsberg, 2017). Morais et al. (2021) ont observé une diminution significative de la fréquence cardiaque moyenne après une courte séance de MPC. Ces résultats sous-entendent que même une immersion méditative brève peut susciter un effet parasympathique perceptible. Un indice temporel couramment utilisé dans la recherche est la racine carrée moyenne des différences successives (RMSSD), mesurée en millisecondes (ms). Mesurant la variabilité à court terme, elle est une mesure spécifique du tonus vagal, lié au nerf vague dans le système parasympathique. Cette mesure présente une robustesse méthodologique importante car elle est peu affectée par les perturbations respiratoires (Laborde et al., 2017; Pumprla et al., 2002). Enfin, l'indice temporel sNN50 compte les variations entre

battements cardiaques supérieures à 50 ms, permettant de détecter un éventuel dysfonctionnement parasympathique (Pumprla et al., 2002).

Interprétation contextuelle des mesures physiologiques. L'interprétation des données physiologiques, telles que la VFC ou la fréquence cardiaque moyenne, requiert la prise en compte du contexte des mesures. En effet, plusieurs facteurs peuvent influencer ces indices, notamment la position corporelle, la respiration, la consommation de caféine, le niveau de stress préalable (Kazzi et al., 2018 ; Pumprla et al., 2002 ; Shaffer & Ginsberg, 2017). D'autres facteurs tels que la durée de l'enregistrement, le matériel utilisé, ou la présence d'artefacts ECG peuvent également biaiser l'analyse des résultats (Pumprla et al., 2002). Par exemple, Kazzi et al. (2018) ont été témoin de cette complexité méthodologique dans leur étude combinant la méditation et la RV. Ils ont observé qu'une séance de méditation guidée en environnement en RV n'entraînait pas systématiquement une réponse parasympathique. Au contraire, chez des participant e·s soumis·e·s à un stress mental préalable, la stimulation en RV maintenait une activité sympathique élevée, suggérant que l'environnement immersif pouvait agir comme un activateur autonome, en prolongeant l'état d'alerte. À l'inverse, les résultats de Jo et al. (2024) apportent des perspectives plus encourageantes. Leur étude a montré une diminution de la fréquence cardiaque moyenne au cours d'une méditation en RV, suggérant un état de relaxation. Toutefois, ils précisent ne pas avoir utilisé de mesures de VFC, ce qui limite la portée de leurs conclusions vis-à-vis de l'engagement parasympathique. Ainsi, dans la présente étude, les résultats issus des mesures ECG (RMSSD et fréquence cardiaque moyenne) seront interprétés avec prudence, en tenant compte de l'ensemble des paramètres individuels, environnementaux et techniques susceptibles d'influencer les réponses du système nerveux autonome.

Hypothèses générales et opérationnalisées

Poursuivre les recherches concernant l'association entre la MPC et les technologies immersives telles que la RV apparaît aujourd'hui comme essentiel dans la littérature scientifique (Failla et al., 2022 ; Ma et al., 2023 ; Riches et al., 2021, 2024). Ce travail a pour objectif d'approfondir la compréhension de cette association encore émergente entre MPC et RV en apportant de nouvelles contributions empiriques. Pour ce faire, cette étude adopte une méthodologie expérimentale en comparant un groupe contrôle (vidéo) à un groupe expérimental (RV), afin de garantir une plus grande rigueur méthodologique. De plus, l'utilisation des mesures physiologiques objectives, en complément de données auto-rapportées, permet de poursuivre une exploration empirique plus riche et nuancée.

En s'appuyant sur la littérature existante, plusieurs hypothèses ont été formulées afin de permettre de répondre au mieux aux questions de recherche :

H1 générale. En se basant sur l'étude de Poetar et al. (2023), il est postulé que la méditation de pleine conscience guidée et immersive en RV est plus efficace que la méditation guidée non immersive par visualisation de vidéo sur ordinateur pour améliorer le bien-être psychologique des participant·e·s, tel que mesuré par les affects, l'anxiété d'état et l'état de pleine conscience.

H1a. Les participant·e·s à la session de méditation en RV présentent une diminution significative de l'affect négatif et une amélioration significative de l'affect positif à la mesure post-session (T2) par rapport à la mesure pré-session (T1), comparativement aux participant·e·s de la session de méditation par visualisation de vidéo sur ordinateur qui démontrent des changements moins marqués des affects positifs et négatifs entre T1 et T2 que ceux observés dans la condition RV.

H1b. En suivant la même méthodologie, les participant·e·s à la méditation en RV présentent une diminution plus marquée de l'anxiété auto-rapportée d'état, par rapport aux participant·e·s à la méditation par visualisation de vidéo.

H1c. En suivant la même méthodologie, les participant·e·s en RV affichent une amélioration plus marquée de l'état de pleine conscience par rapport aux participant·e·s ayant utilisé la vidéo.

H2 générale. La séance de méditation en RV montre une réduction plus marquée de la fréquence cardiaque moyenne ainsi qu'un effet significatif sur la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) entre T1 et T2, par rapport à la séance de méditation non immersive (Kazzi et al., 2018).

H3 générale. Les participant·e·s à la séance de méditation de pleine conscience guidée et immersive en RV rapportent une expérience utilisateur·trice positive, caractérisée par un score de satisfaction significativement élevé.

Ci-dessous, les hypothèses opérationnalisées émises afin de guider la recherche :

H1a. Dans une population saine d'étudiant·e·s âgé·e·s de 18 à 65 ans, les participant·e·s du groupe expérimental à la session de méditation de pleine conscience guidée et immersive en RV présentent une diminution significative de l'affect négatif et une amélioration significative de l'affect positif au T2 par rapport au T1, mesurées par l'échelle *Self-reported Positive and Negative Affect Scale* (PANAS)(Watson et al., 1988), comparativement au groupe contrôle exposé à une session de méditation non immersive en vidéo qui démontre des changements moins significatifs des affects positifs et négatifs entre T1 et T2 que ceux observés dans la condition RV.

H1b. En suivant la même méthodologie, le groupe expérimental (méditation en RV) présente une diminution significative de l'anxiété d'état auto-rapportée, mesurée par l'échelle *State-Trait Anxiety Inventory – Form Y*, (STAI-Y) (Spielberger, 2015), au T2 par rapport à T1, comparativement au groupe contrôle (vidéo).

H1c. En suivant la même méthodologie, le groupe expérimental affiche une amélioration significative du score total de l'état de pleine conscience, mesurée par l'échelle *State Mindfulness Scale* (SMS) (Tanay & Bernstein, 2013).

H2. Le groupe expérimental (RV) présente une diminution plus marquée de la fréquence cardiaque (FC) et un changement significatif de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) entre les mesures pré -session (T1) et post-session (T2), par rapport au groupe contrôle (vidéo). La FC sera mesurée via un capteur Movisens EcaMove 4 placé sur le buste, avant, pendant et après la séance. Les indices de l'ECG retenus sont les suivants : la moyenne de la fréquence cardiaque de base (FC) et comme variable de la fréquence cardiaque, la moyenne quadratique des différences successives de la fréquence cardiaque (RMSSD).

H3. Le groupe expérimental recevant une session de méditation en RV rapporte une expérience utilisateur·trice positive, caractérisée par un score de satisfaction significativement supérieur à la moyenne théorique de 3 sur l'échelle de Likert, au questionnaire *The User Satisfaction Evaluation Questionnaire* (USEQ) (Gil-Gómez et al., 2017), présenté immédiatement après la session (T2).

Méthodologie

Le projet expérimental explorant l'utilisation de la RV dans la pratique de la méditation, mené par le département de psychologie clinique de l'Université de Fribourg recueille un large éventail de données (l'électroencéphalogramme (EEG), l'activité électrodermale (EDA), l'ECG, tâche de récompenses, etc.). Cependant, dans le cadre de cette recherche, seules certaines de ces variables sont analysées en détail. L'EEG, l'EDA et la tâche de récompense sont évoqués à titre informatif, sans faire l'objet d'un approfondissement.

Personnes participantes

64 participant·e·s, étudiant·e·s ou chercheur·euse·s à l'Université de Fribourg ont participé à l'étude. Toutefois, en raison du temps limité pour le traitement des données, seuls 55 d'entre eux/elles ont été préanalysé·e·s et 48 ont été retenu·e·s pour l'analyse statistique des résultats finaux avec un âge qui variait de 20 à 55 ans ($M = 24.71$, $SD = 6.25$). Le recrutement a principalement eu lieu par

le biais de messages diffusés sur les réseaux sociaux, notamment dans les groupes universitaires. Cette démarche a été complétée par l'affichage de flyers dans les bâtiments universitaires ainsi que par le bouche-à-oreille.

Les personnes intéressées ont toutes participé volontairement. À la suite de leur intérêt, elles ont reçu des informations détaillées sur l'étude, incluant son déroulement, les modalités de consentement ainsi que les indications pour se rendre au laboratoire. Il n'y avait pas de contre-indication spécifique à la participation, hormis le fait d'être âgé·e·s d'au moins 18 ans. Par ailleurs, il a été déconseillé aux personnes sujettes à l'inconfort lié à la RV de s'inscrire, afin de garantir leur bien-être pendant l'expérience (Malińska et al., 2015). Pour assurer des conditions optimales, les participant·e·s étaient invité·e·s à porter des vêtements confortables, à éviter la consommation d'alcool, de caféine ou de substances psychoactives avant l'étude, ainsi qu'à veiller à bien dormir la nuit précédent l'expérience (Laborde et al., 2017). Ci-dessous, le Tableau 1 représente les informations démographiques de l'échantillon de participant·e·s.

Tableau 1*Présentation Démographique des personnes participantes*

Variable	RV (n = 25)	Vidéo (n = 23)	Total (N = 48)
Genre (femme)	18 (72 %)	20 (87 %)	38 (79 %)
Familiarité avec la RV	16 (64 %)	15 (65 %)	29 (65 %)
Familiarité avec la méditation	19 (76 %)	16 (70 %)	35 (73 %)
Âge (en années)	$M = 25.84$ $SD = 7.58$	$M = 23.48$ $SD = 4.05$	$M = 24.71$ $SD = 6.25$

Note. La familiarité avec la RV correspond à l'indication d'une utilisation préalable du dispositif, même occasionnelle. Les participant·e·s ayant déclaré une familiarité indiquaient une utilisation rare.

Aspects éthiques

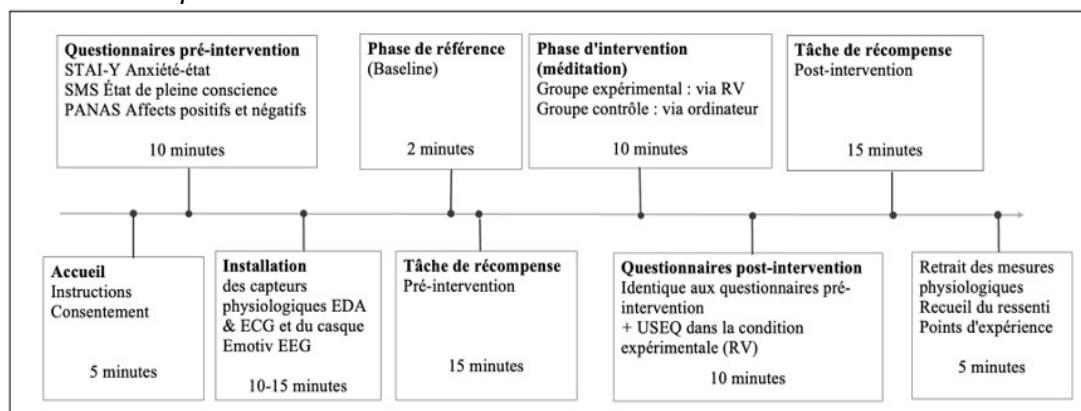
Dans le cadre de notre étude, une importance primordiale au respect rigoureux du protocole et aux normes établies par le comité d'éthique de l'Université de Fribourg a été accordée. La demande d'approbation soumise au comité d'éthique interne au département de psychologie a été validée (numéro de demande : 2024-973). Chaque participant·e a signé une feuille de consentement afin d'être pleinement informé·e de tous les aspects importants liés à l'étude, tels que les potentiels désagréments, la politique de confidentialité et la liberté de se retirer de l'étude à tout moment. Pour garantir une bonne compréhension de ces informations, l'expérimentatrice a également présenté oralement le contenu de la feuille de consentement en début d'expérience. Toutes les données collectées ont été traitées de manière strictement confidentielle et anonyme. Par ailleurs, afin d'assurer le confort et la sécurité des participant·e·s, les expérimentatrices étaient disponibles tout au long de l'expérience pour répondre aux questions et aux besoins éventuels. Aucune compensation financière n'était prévue, toutefois les étudiant·e·s en psychologie avaient la possibilité de recevoir 1,5 point d'expérience.

Procédure

Les participant·e·s étaient accueilli·e·s individuellement dans un laboratoire de l'Université de Fribourg. Après leur arrivée, ils/elles étaient réparti·es aléatoirement dans l'un des deux groupes, expérimental ou contrôle, grâce à une randomisation préalable. La durée totale de l'expérience était entre 1h15 et 1h30 (Figure 1). L'expérimentatrice commençait par présenter la feuille de consentement aux participant·e·s, en s'assurant qu'ils/elles avaient bien compris les informations fournies. Les éventuelles questions étaient clarifiées, notamment celles concernant l'installation des mesures physiologiques et le déroulement de l'expérience. Une fois le consentement signé, les participant·e·s remplissaient une fiche d'informations personnelles.

Figure 1

Illustration Schématique de la Procédure



Ensuite, les participant·e·s complétaient les questionnaires pré-intervention (cf. 3.6 Mesures comportementales). Ces questionnaires étaient présentés sur papier et déposés sur le bureau avant leur arrivée. L'expérimentatrice reste disponible pour répondre aux questions éventuelles concernant la compréhension des items. La durée du remplissage des questionnaires variait entre 10 et 15 minutes selon la rapidité du/de la participant·e.

La phase suivante consistait à installer les capteurs physiologiques, à savoir l'EDAMove4, l'ECGMove4 et le casque Emotiv EEG. La durée de la mise en place des capteurs était de 3 minutes pour l'EDAMove4 et l'ECGMove4 et d'environ 10 à 15 minutes pour l'EEG. Deux expérimentatrices étaient généralement présentes pour cette étape afin d'optimiser l'installation. En effet, la durée d'installation de l'EEG peut varier en fonction de la masse et de l'épaisseur des cheveux du/de la participant·e.

Il est important de mentionner que des marqueurs temporels à la fin de chaque étape sont utilisés, en touchant deux fois les capteurs dans le but de faciliter le traitement des données physiologiques. Une fois les capteurs installés, la phase de référence (Baseline) était lancée pendant deux minutes, au cours desquelles les participant·e·s avaient comme instructions de rester calme, ne penser à rien et regarder l'écran. Ensuite, la tâche de récompense était lancée sur l'ordinateur et durait entre 15 et 20 minutes (Tandon et al., 2022).

La phase clé de l'expérience débutait par la séance de méditation de pleine conscience guidée. Le groupe expérimental réalisait cette méditation en RV, tandis que le groupe contrôle la pratiquait via un support audio-vidéo sur l'ordinateur du laboratoire. Comme expliqué aux participant·e·s avant le début de l'intervention, la méditation guidée de pleine conscience durait 10 minutes et était en anglais dans les deux groupes. L'objectif était de garantir le confort des participant·e·s. Pour cela, un fauteuil confortable adapté à la relaxation leur est proposé. Dans le groupe expérimental, la vidéo immersive est préparée et l'Oculus VR est installé sur la tête du/ de la participant·e, qui porte déjà le casque Emotiv pour l'EEG. Un ajustement approprié du casque VR a été réalisé pour éviter toute pression excessive sur les électrodes, réduisant ainsi les risques d'inconfort. Les participant·e·s recevaient pour consigne de garder les yeux ouverts, de se détendre (dans la mesure du possible) et de suivre les indications de la méditation guidée. De plus, il leur était indiqué qu'ils ou elles pouvaient arrêter ou appeler un·e membre de l'équipe de recherche à tout moment s'ils ou elles ressentaient des désagréments liés à la RV. Dans le groupe contrôle, l'audio vidéo de méditation guidée sur l'ordinateur était lancé. Les participant·e·s étaient également invité·e·s à garder les yeux ouverts pour ne pas fausser les mesures des ondes alpha, et il leur était proposé d'éteindre la lumière selon leurs besoins.

Les étapes post-intervention suivaient le même déroulement que les étapes pré-intervention. Les participant·e·s complétaient à nouveau les mêmes questionnaires ainsi que la tâche de récompense en respectant la même procédure. Toutefois, il est important de souligner que l'USEQ était ajoutée dans la condition expérimentale pour évaluer l'expérience utilisateur·trice et le niveau de satisfaction vis-à-vis du dispositif de RV (Gil-Gómez et al., 2017). Après avoir terminé les étapes post-interventions, les capteurs physiologiques ainsi que le casque Emotiv (EEG) étaient retirés, et les données étaient enregistrées au format CSV. L'expérimentatrice s'assurait que tout s'est bien passé, recueillant les ressentis des participant·e·s et répondant aux éventuelles questions. Enfin, elle proposait aux étudiant·e·s en bachelor en psychologie les 1.5 points d'expérience pour leur participation.

Design expérimental

Cette étude adopte à la fois un design inter-sujet et intra sujet. La variable « temps » est indépendante intra-sujet avec deux modalités : T1 (pré-intervention) et T2 (post intervention) et chaque participant·e complétait les questionnaires avant et après l'intervention de méditation, tandis que les mesures physiologiques étaient recueillies au même moment. En parallèle, la deuxième variable indépendante, de type inter-sujet, concerne les groupes d'attribution, répartis en deux modalités : le groupe expérimental (séance de méditation de pleine conscience guidée et immersive en RV) et le groupe contrôle (méditation guidée non immersive par audio vidéo sur ordinateur). L'étude comporte 7 variables dépendantes, réparties en deux catégories. Premièrement, les variables comportementales, mesurées par des questionnaires auto-rapportés, incluent le score d'affect positif (H1a), le score d'affect négatif (H1a), d'anxiété état (H1b), de l'état de pleine conscience (H1c) et du niveau satisfaction lié au dispositif de RV (H3) (Cf. Mesures comportementales). Deuxièmement, les variables physiologiques liées à l'activité cardiaque, incluant la fréquence cardiaque moyenne (H2) et la variabilité à court terme (H2).

Matériel

Le matériel utilisé pour cette étude comprenait un ordinateur Dell OptiPlex, équipé du système d'exploitation Windows 11 et d'un clavier Logitech. Il servait à recueillir les enregistrements des mesures physiologiques ainsi que les données de la tâche de récompense. Pour la condition expérimentale, un casque Oculus Quest 2² de RV aux dimensions de 191,5 x 102 x 142,5 mm était utilisé et l'écran possédait une haute résolution de 1832 x 1920 pixels LCD RGB. L'application utilisée était Guided Meditation VR. La méditation audio guidée en RV sélectionnée se nommait *Lac Azur*. Pour la condition contrôle, la méditation guidée en format audiovisuel a été choisie en se basant sur des travaux de Poetar et al. (2023). Elle était disponible sur InsightTimer. Les

questionnaires concernant les mesures comportementales étaient imprimés et administrés sur des feuilles de papier A4.

Les mesures physiologiques étaient recueillies à l'aide des capteurs ECGMove4 (fixé au sternum via une ceinture) et EDAMove4 (porté au poignet, avec deux électrodes adhésives sur la paume de la main). Ils sont produits par Movisens GmbH (Karlsruhe, Allemagne). Le logiciel « Sensor Manager » (Movisens GmbH) était utilisé pour l'enregistrement des données. Le traitement des signaux ECG et EDA a été ensuite réalisé avec Python (v3.11.11) à l'aide des librairies pandas et NeuroKit2, à l'aide des fonctions « process » et « analyze » (Makowski et al., 2019/2021).

L'électroencéphalogramme casque Emotiv Flex 2.0 (EEG sans fil à 32 canaux) était utilisé pour mesurer l'activité électroencéphalographique (Datta et al., 2024). Afin de mener à bien son installation, une solution saline et des pipettes étaient utilisées afin d'assurer la bonne conductivité des électrodes. Enfin, la tâche de récompense appelée *Fribourg Reward Task* (FRT) est utilisée pour explorer les réponses motivationnelles du système de récompenses (Tandon et al., 2022). Cette tâche était disponible en ligne via un serveur JATOS. Il est à noter que les données issues de ces mesures ne seront pas traitées dans le cadre de ce travail de Bachelor.

Mesures comportementales

Dans le cadre de cette étude sur la méditation de pleine conscience en RV, plusieurs outils de mesure comportementale pour évaluer l'efficacité de l'intervention ont été sélectionnés. L'échelle *State-Trait Anxiety Inventory – Form Y*, (STAI-Y) (Spielberger et al., 1983) mesure spécifiquement l'anxiété état, c'est à dire l'anxiété ressentie par un·e individu à un instant précis ou dans une situation particulière. Le questionnaire comprend 20 items et est évalué sur une échelle de Likert à 4 points, allant de 1 (*pas du tout*) à 4 (*beaucoup*). Il se concentre davantage sur l'évaluation de sentiment comme l'appréhension, la tension, la nervosité, l'inquiétude et l'activation du système nerveux autonome. Le score obtenu au STAI-Y peut varier entre 20 et 80, un score plus élevé indiquant un plus haut niveau d'anxiété état. Sa fiabilité élevée (coefficient $> .90$) en fait un outil idéal pour évaluer les changements d'anxiété état induits par l'intervention de ce projet (Marteau & Bekker, 1992 ; Thomas & Cassady, 2021).

Pour évaluer le niveau de pleine conscience atteint avant et après la séance de méditation, l'échelle *State Mindfulness Scale* (SMS) développé par Tanay et Bernstein (2013) a été utilisée. Les participant·e·s doivent auto-évaluer leur expérience de pleine conscience sur une période récente, ici les 15 dernières minutes. Le SMS comprend 21 items auto-rapportés, notés sur une échelle de Likert à 5 points allant de 0 (*Pas du tout*) à 4 (*beaucoup*), avec un score total qui varie de 0 à 84. Ce questionnaire évalue deux dimensions principales : d'un côté l'attention et la conscience des

sensations corporelles et d'un autre celle des évènements mentaux (pensées, émotions). Tanay et Bernstein (2013) démontrent l'excellente fiabilité interne du SMS avec un alpha de Cronbach de .95 avant l'utilisation de la méditation pleine conscience et de .93 après.

L'échelle *Self-reported Positive and Negative Affect Scale* (PANAS) conçue par Watson et al. (1988) comprend deux sous-échelles de 10 éléments chacune, évaluant les affects positifs (PA) et négatifs (NA). Cette étude se concentre sur les affects en tant qu'état, bien que le PANAS soit reconnu pour mesurer l'affect dans différents contextes temporels. Chaque item est évalué sur une échelle de Likert à 5 points, allant de 1 (*pas du tout*) à 5 (*beaucoup*). La cohérence interne de cet outil révèle un alpha de Cronbach de .89 (IC 95% = .88–.90) pour l'échelle PA, et de .85 (IC 95% = .84–.87) pour l'échelle NA (Watson et al., 1988b ; Crawford & Henry, 2004).

Enfin, pour évaluer l'expérience utilisateur lié au dispositif de RV, *The User Satisfaction Evaluation Questionnaire* (USEQ) (Gil-Gómez et al., 2017) est utilisé. Cette échelle courte comporte 6 items (dont le 6^{ème} a été adapté pour ce projet). Les participant·e·s évaluent les items d'après une échelle de Likert à 5 points allant de 1 (*pas du tout*) à 5 (*beaucoup*). Voici les dimensions précises évaluées par l'USEQ : plaisir d'utilisation ; sentiment de réussite ; capacité à contrôler le système et l'absence d'inconfort. Les 6 items de l'USEQ étaient significativement associés les uns aux autres, et l' alpha de Cronbach pour le questionnaire était de .716. Pour finir, le score total de l'USEQ peut varier entre 6 (*faible satisfaction*) et 30 (*excellente satisfaction*) (Gil-Gómez et al., 2017).

Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel RStudio (Version 2024.04.2) et la réalisation de la base de données avec le logiciel Microsoft Excel (Version 16.96.1). Les 2 variables indépendantes communes à toutes les hypothèses sont : la condition expérimentale (2 modalités : RV immersive vs vidéo sur ordinateur) et le temps de mesure (2 modalités : pré- T1 vs post-intervention T2). Cette étude inclut 7 variables dépendantes (Cf. 3.4 Design expérimental).

Afin de tester l'effet de la condition (variable à facteur interpersonnel) sur chaque variable dépendante en fonction des temps de mesures (variable à facteur intra-individuel), des analyses de variance (ANOVA) mixtes 2x2 ont été effectuées pour chaque hypothèse. Les conditions d'application relatives à ce test ont été vérifiées pour chacune des variables. Le test Kolmogorov Smirnov, les histogrammes et les boxplots ont permis d'évaluer la distribution de la normalité. L'homogénéité des variances entre les groupes a été vérifiée à l'aide du test de Levene, tandis que l'indépendance des observations était garantie par le plan expérimental ainsi que la taille de l'échantillon (23/25). Étant donné que le facteur intra sujet (temps) possède que 2 modalités, le test de sphéricité de Mauchly n'est pas utilisable, car la sphéricité est automatiquement respectée.

Finalement, le test de Box a permis de vérifier l'homogénéité de la matrice de variances/covariances. Les variables dépendantes de l'anxiété état et de la fréquence cardiaque moyenne présentaient des conditions d'application relativement bonnes, et moyennes pour l'état de pleine conscience. En revanche, l'évaluation des conditions d'application concernant le PANAS et l'indice RMSSD était entièrement violée (Watson et al., 1988). Bien que l'ANOVA mixte soit considérée comme une méthode robuste, la violation des conditions d'application a conduit à la réalisation parallèle de tests non paramétriques (Wilcoxon pour données appariées) afin de confirmer les tendances observées. L'exécution des analyses post-hoc n'était pas nécessaire en raison du peu de modalités utilisées (ANOVA 2x2). Toutefois, les statistiques descriptives se sont montrées très utiles pour tirer des conclusions plus approfondies des effets observés lors de l'analyse de l'ANOVA mixte.

Un T-test à échantillon unique unilatéral (alternative="greater") a été réalisé afin de savoir si la moyenne empirique du niveau de satisfaction est supérieure à la moyenne théorique du questionnaire USEQ (Gil-Gómez et al., 2017). Dans ce cas, la valeur théorique correspond à 3, faisant référence à la moitié de l'échelle de Likert du questionnaire de satisfaction utilisé. Le score de l'item 5 « Gêne ressenti » possède une échelle inversée par rapport aux autres items, suggérant qu'un score élevé correspond à une gêne plus importante. De ce fait, il a été recodé avant d'être intégré à la moyenne globale de satisfaction afin de ne pas fausser les résultats. Ainsi, un score élevé sur tous les items correspond à une satisfaction plus forte. De plus, il est important de souligner l'omission de l'item 3 « Avez-vous pu contrôler le système ? » dans le calcul du score moyen. Le score de satisfaction est donc basé sur les items 1, 2, 4, 5 et 6. En effet, l'item 3 ne semblait pas être pertinent dans le contexte expérimental de cette étude puisque les participant-e-s n'avaient pas l'occasion d'interférer manuellement avec le système.

Résultats

Ce chapitre présente les effets de la méditation guidée immersive en RV comparée à une méditation non immersive (vidéo/audio) sur des variables comportementales (PANAS, STAI-Y SMS), physiologiques (fréquence cardiaque moyenne, RMSSD) et d'expérience utilisateur (USEQ). Pour chaque analyse, les résultats de l'ANOVA mixte 2x2 sont décrits, suivis des tests non paramétriques complémentaires en cas de violation des conditions d'application.

Résultats relatifs aux variables comportementales

Résultats relatifs aux affects émotionnels (H1a). La première hypothèse H1a portait sur l'évaluation du niveau d'affect émotionnel (positif ou négatif) à des temps différents T1 et T2 de la

méditation, en fonction de la condition (RV vs. Vidéo). L'ANOVA mixte 2x2x2 révèle un effet principal du type d'affect, $F(1,46) = 200.49, p < .001, \eta^2g = .66$, suggérant des scores d'affects positifs significativement plus élevés ($M = 2.88, SD = 0.68$) que les scores d'affects négatifs ($M = 1.31, SD = 0.35$). De plus, un effet principal du temps est également observé $F(1,46) = 14.27, p < .001, \eta^2g = .021$, montrant une évolution dans les scores d'affects selon le moment de l'intervention, T1 : ($M = 2.18, SD = 0.43$) et T2 : ($M = 2.01, SD = 0.40$). Toutefois, la diminution est à nuancer selon l'interaction significative Affect x Temps observée $F(1, 46) = 12.03, p = .001, \eta^2g = .014$. Les résultats indiquent que l'évolution des scores du niveau d'affect est influencée en fonction du moment et du type d'affect. Les scores d'affect négatif diminuent significativement après la séance, passant de ($M = 1.46, SD = 0.51$) à ($M = 1.16, SD = 0.23$), tandis que les scores d'affect positif restent stables, de ($M = 2.89, SD = 0.67$) à ($M = 2.86, SD = 0.76$). Ces résultats suggèrent que la méditation a un effet bénéfique principalement sur la réduction des émotions négatives. Les résultats de l'ANOVA mixte ne révèlent aucun effet principal de la condition $F(1, 46) = 2.71, p = .106, \eta^2g = .025$, ni d'interaction impliquant la condition. Plus précisément, l'interaction Condition x Affect n'est pas significative $F(1, 46) = 0.74, p = .39, \eta^2g = .001$, tout comme l'interaction Condition x Temps $F(1, 46) = 3.44, p = .07, \eta^2g = .001$ et l'interaction triple Condition x Affect x Temps $F(1, 46) = 0.78, p = .38, \eta^2g = .001$. Ces résultats suggèrent que ni le type d'affect, ni le temps de mesures ne sont influencés par le mode d'intervention (RV ou vidéo). L'ensemble des variables et leurs interactions expliquent environ 66 % de la variance des scores d'anxiété état, $Radj2 = 0.66$. Cependant, en raison de la violation des conditions d'application de l'ANOVA (non-normalité et hétérogénéité des variances), des tests non-paramétriques appariés de Wilcoxon ont été effectués pour chaque condition, afin d'obtenir des analyses plus robustes. Les résultats confirment l'absence de différence significative des affects positifs et la réduction significative des affects négatifs. Dans le groupe contrôle, l'affect négatif diminue significativement entre le T1 : ($Mdn = 1.22, IQR = 0.33$) et le T2 : ($Mdn = 1.11, IQR = 0.22$), $V = 195, p < .001$. Dans le groupe expérimental, les résultats révèlent une diminution légèrement plus significative des affects négatifs, entre les temps de mesure T1 : ($Mdn = 1.44, IQR = .66$) et T2 : ($Mdn = 1.11, IQR = 0.33$), que dans le groupe contrôle $V = 512.5, p < .001$. Toutefois, cette différence ne permet pas de mettre en avant une différence significative entre RV et vidéo.

Résultats relatifs à l'anxiété état (H1b). Les résultats de l'anxiété état auto rapportée concernant la deuxième sous-hypothèse comportementale H1b ne révèlent aucune différence significative. L'ANOVA mixte 2x2 ne montre aucun effet principal du temps $F(1, 46) = 0.59, p = .45, \eta^2g = .003$, ni de la condition $F(1, 46) = 0.96, p = .33, \eta^2g = .016$. De plus, l'interaction Temps x Condition ne démontre également aucun effet significatif, $F(1, 46) = 0.07, p = .79, \eta^2g < .001$. Selon les moyennes descriptives, les scores d'anxiété demeurent globalement stables entre les temps de

mesures, aussi bien dans le groupe vidéo T1 : ($M = 2.19, SD = 0.21$) ; T2 : ($M = 2.21, SD = 0.23$) que dans le groupe de RV, T1 : ($M = 2.24, SD = 0.23$) ; T2 : ($M = 2.27, SD = 0.20$). De manière générale, les participant·e·s indiquent un niveau d'anxiété état modéré, avec des scores légèrement plus élevés dans la condition RV, sans que cette différence soit significative. Les conditions d'application étant respectées pour la variable anxiété état, l'ANOVA mixte 2x2 a été retenue comme analyse principale, sans risque majeur de biais. L'ensemble des variables et leurs interactions expliquent environ 1.3 % de la variance des scores d'anxiété état, $Radj2 = 0.013$.

Résultats relatifs à l'état de pleine conscience (H1c). Concernant la troisième sous-hypothèse H1c, une ANOVA mixte 2x2 a également été réalisée sur les scores du questionnaire de pleine conscience. Les résultats indiquent un effet principal significatif du temps, $F(1, 46) = 78.86, p < .001, \eta^2g = .35$. Les moyennes révèlent une augmentation significative aussi bien pour la condition d'intervention en vidéo T1 : ($M = 2.84, SD = 0.86$) ; T2 ($M = 3.80, SD = 0.56$) que pour la condition d'intervention en RV T1 : ($M = 2.83, SD = 0.56$) ; T2 ($M = 3.65, SD = 0.47$). En revanche, aucun effet principal de la condition $F(1, 46) = 0.31, p = .58, \eta^2g = .005$, ni d'interaction Condition x Temps $F(1, 46) = 0.51, p = .48, \eta^2g = .003$ n'a été observé. L'ensemble des variables et leurs interactions expliquent environ 34 % de la variance des scores d'anxiété état, $Radj2 = 0.34$. L'analyse des résultats suggère que l'augmentation significative de l'état de pleine conscience est due à la méditation et non au mode d'intervention en lui-même. Malgré le fait que l'ANOVA soit une analyse robuste, il était préférable d'effectuer les tests non paramétriques appariés de Wilcoxon, en raison d'une violation partielle des conditions d'application et afin de garantir l'obtention de résultats fiables. Les résultats des tests non-paramétriques de Wilcoxon ont confirmé la tendance observée de l'ANOVA mixte, $V = 220, p < .001$ pour la condition expérimentale et $V = 230, p < .001$ pour la condition contrôle.

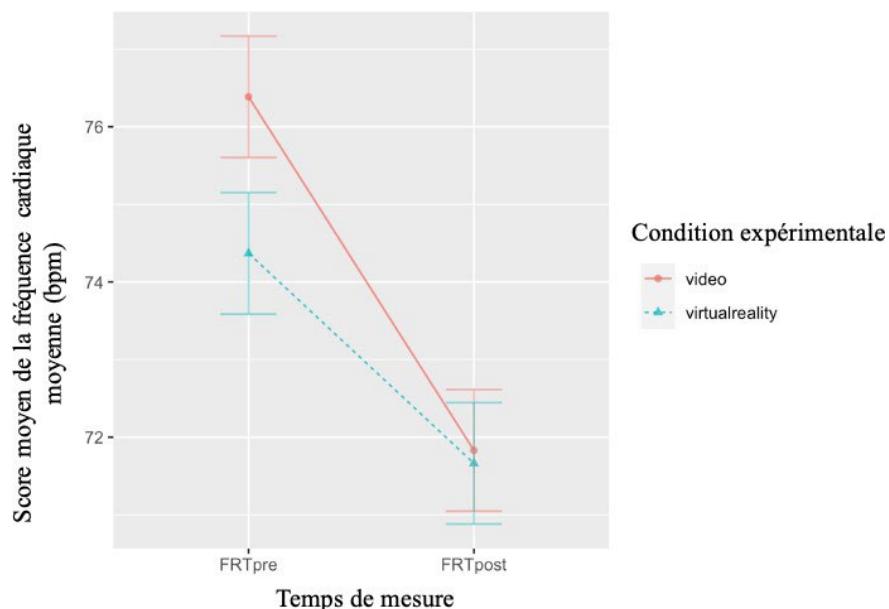
Résultats relatifs aux variables physiologiques

Résultats relatifs à l'indice de fréquence cardiaque moyenne (H2). L'analyse de la fréquence cardiaque moyenne selon l'hypothèse deux a également été effectuée à l'aide d'une ANOVA mixte 2x2. Les résultats indiquent l'existence d'un effet principal significatif du temps $F(1, 46) = 43.54, p < .001, \eta^2g = .041$. Selon l'analyse des statistiques descriptives, le T1 ($M = 76.38, SD = 7.75$) diffère significativement du T2 ($M = 71.83, SD = 7.49$) dans la condition contrôle, indiquant ainsi une réduction de la fréquence cardiaque moyenne. Cette diminution est observée dans les deux conditions, y compris dans la condition expérimentale T1 : ($M = 74.36, SD = 10.94$) ; T2 : ($M = 71.66, SD = 8.81$). En revanche, il n'existe aucun effet principal de la condition $F(1, 46) = 0.19, p = .67, \eta^2g = .004$, ni d'effet d'interaction Condition x Temps $F(1, 46) = 2.82, p = .10, \eta^2g = .003$.

L'ensemble des variables et l'effet d'interaction expliquent que 2% de la variance dans la population, $Radj2 = .02$, ce qui reste faible. L'utilisation de tests non-paramétriques n'était pas requise pour cette hypothèse, puisque les conditions d'application étaient respectées. Bien que l'interaction entre le temps et la condition ne soit pas significative, les moyennes descriptives (Figure 2) indiquent un motif qui ne permet pas de conclure statistiquement, mais qui pourrait être exploré dans des travaux futurs. Par ailleurs, la réduction de la fréquence cardiaque observée semble indépendante du support utilisé, ce qui suggère un effet généralisé de la pratique méditative.

Figure 2

Graphique Descriptif de l'Effet d'Interaction Non Significatif Relatifs à la Fréquence Cardiaque Moyenne mesurée en bpm



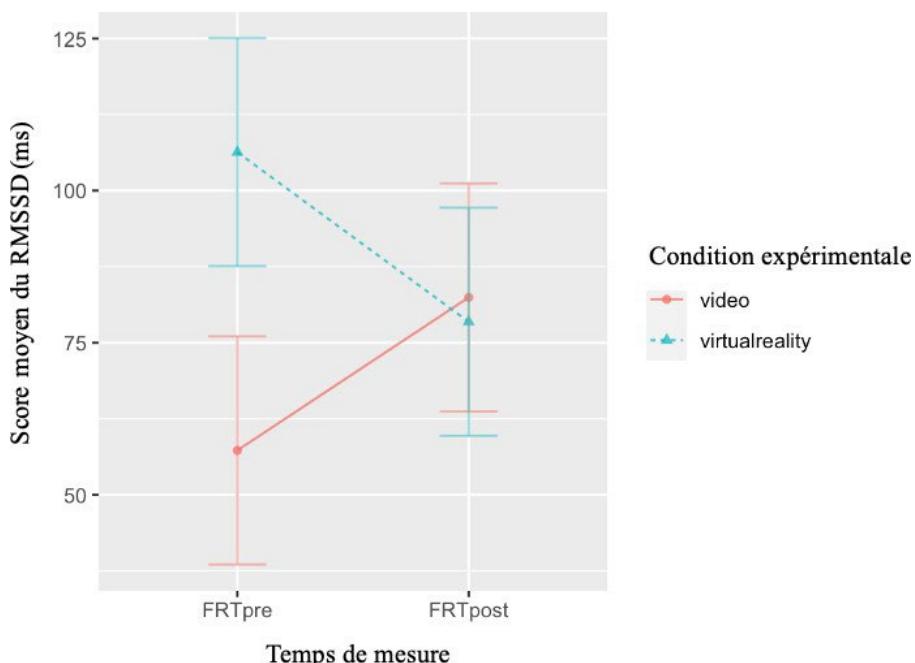
Note. Les barres d'erreur représentent l'écart-type autour de la moyenne. Bpm = battements par minute. La pente de la condition vidéo illustre une diminution légèrement plus marquée par rapport à celle observée dans la condition virtual reality (RV). Les deux convergent vers un niveau similaire post intervention.

Résultats relatifs à l'indice RMSSD (H2). L'analyse statistique de l'ANOVA mixte 2x2 concernant l'indice physiologique RMSSD lié à l'hypothèse deux conclut à des résultats non significatifs. En effet, on ne retrouve ni effet principal du temps $F(1, 46) = 0.01, p = .918, \eta^2g = .000035$, ni effet principal de la condition $F(1, 46) = 0.52, p = .47, \eta^2g = .010$. Cependant, l'effet d'interaction Temps x Condition démontre un seuil très proche de la signification, suggérant une différence entre les deux types de dispositifs (RV vs vidéo), $F(1, 46) = 4.05, p = .050, \eta^2g = .013$ (Figure 3). Les statistiques descriptives appuient cette tendance, en montrant une diminution de

l'RMSSD dans la condition en RV, T1 : ($M = 106.32$, $SD = 191.44$) ; T2 : ($M = 78.44$, $SD = 91.08$) et une augmentation dans la condition vidéo T1 : ($M = 57.3$, $SD = 26.75$) ; T2 : ($M = 82.45$, $SD = 85.67$). Ces résultats sont toutefois à interpréter avec prudence en raison de la grande variabilité interindividuelle, notamment dans le groupe en RV (Figure 3). En raison de la violation complète des conditions d'application, les résultats sont complétés par des tests non-paramétriques appariés de Wilcoxon pour chaque groupe (RV vs vidéo) de la condition. Les résultats confirment en partie la tendance explorée lors de l'analyse de l'ANOVA. En effet, le test de Wilcoxon révèle un effet significatif du groupe contrôle en vidéo, $V = 31$, $p < .001$, indiquant une augmentation de l'indice temporel RMSSD après l'intervention. En revanche, aucune variation significative n'est observée du côté du groupe expérimental en RV, $V = 117$, $p = .23$.

Figure 3

Graphique de l'Effet d'Interaction de la Moyenne Quadratique des Différences Successives de la Fréquence Cardiaque (RMSSD) mesurée en ms



Note. Les barres d'erreur représentent l'écart-type autour de la moyenne. Ms = millisecondes. L'interaction observée est marginalement significative ($p = .050$). Cette tendance doit être interprétée avec prudence, car elle ne dépasse pas le seuil conventionnel de signification statistique.

Résultats relatifs à l'expérience utilisateur·trice (H3). Pour évaluer la satisfaction globale des participant-e·s vis-à-vis de l'expérience de méditation en RV, un score moyen global de l'USEQ (Gil-Gómez et al., 2017) a été calculé à partir de cinq dimensions : Appréciation, facilité, clarté, gêne

ressentie (inversée) et l'utilité perçue de la RV (hypothèse trois). Les moyennes obtenues par dimensions sont les suivantes (Tableau 2) :

Tableau 2*Tableau des Moyennes et des Écarts-Types des Dimensions de l'USEQ (N = 25)*

Dimension	Moyenne (M)	Écart-type (ET)
Appréciation	4.41	0.84
Facilité	4.77	0.42
Clarté	4.59	0.58
Gêne	3.86	1.10
Utilité	3.95	1.07
Score total	4.32	0.49

Note. Résultats possibles entre 1 et 5. Les scores élevés indiquent une meilleure expérience utilisateur. À noter que la dimension Gêne a été inversée pour correspondre à une évaluation positive. Le score total correspond à la moyenne des cinq dimensions.

Afin de tester l'hypothèse selon laquelle les participant-e-s obtiennent un score de satisfaction à l'USEQ supérieur au seuil neutre de 3 (milieu de l'échelle de 1 à 5), un t-test unilatéral à échantillon unique (alternative = greater) a été utilisé sur le score moyen global (Gil-Gómez et al., 2017). Les résultats soutiennent cette hypothèse en révélant que la moyenne générale des scores de satisfaction ($M = 4.32$, $SD = 0.49$) est significativement supérieure à la valeur théorique de 3, $t(109) = 27.95$, $p < .001$. Ces résultats confirment que l'expérience utilisateur globale est positive, en montrant qu'elle est significativement supérieure à la valeur théorique de l'échelle de l'USEQ. Cela suggère que le dispositif de RV a été globalement bien accepté par rapport à toutes les dimensions, notamment en termes de facilité d'utilisation et d'appréciation globale. Toutefois, il est important de noter que pour les dimensions de la gêne ressentie ($M = 3.86$, $SD = 1.1$) et de l'utilité perçue de la RV dans la pratique de la méditation ($M = 3.95$, $SD = 1.07$) relatent des écarts-type assez élevé, suggérant des avis plus mitigés des participant-e-s au sujet de ces deux dimensions.

Discussion

L'objectif de cette recherche était double : d'une part, approfondir les effets de la RV sur la méditation via des indicateurs comportementaux et physiologiques ; d'autre part, évaluer l'expérience subjective des participant-e-s vis-à-vis du dispositif immersif. En effet, un taux de satisfaction

insuffisant pourrait limiter l'adoption de la RV comme support de méditation et remettre en cause sa pertinence clinique.

La première hypothèse, déclinée en trois sous-hypothèses (H1a, H1b et H1c), postulait que le bien-être momentané augmenterait après l'intervention de méditation. De plus un effet amplifié en présence de la RV était attendu. Le bien-être momentané a été évalué à l'aide de quatre indices : les affects positifs et négatifs, l'anxiété état et l'état de pleine conscience.

Premièrement, les résultats de la sous-hypothèse H1a relatent un effet principal du temps, mais aucun effet significatif de la condition, ni d'interaction n'a été recensé. Ces résultats suggèrent que la méditation, quelle que soit la modalité (RV vs vidéo), améliore l'humeur. Il est à noter que seule la diminution des affects négatifs après la séance demeure significative, avec une tendance légèrement plus marquée dans la condition RV, bien que non significative. La sous-hypothèse H1a est donc partiellement confirmée. Les résultats peuvent s'expliquer par la durée brève de l'intervention, qui ne permet peut-être pas d'induire une amélioration notable des affects positifs. En effet, un entraînement méditatif régulier est préférable pour observer des changements profonds de l'humeur (Kabat-Zinn, 2003). En outre, dans cette étude, les scores d'affects positifs étaient déjà relativement élevés au T1, ce qui a pu limiter les possibilités d'amélioration supplémentaires, en plus de la brièveté de l'intervention. Ces résultats sont cohérents avec la littérature, montrant également un effet positif du temps sur l'humeur, indépendamment du type de support. Dans l'essai randomisé de Poetar et al. (2023) et de Jo et al. (2024), un effet principal du temps sur la réduction des affects négatifs est également rapporté, sans influence significative du mode d'intervention. Par ailleurs, aucun effet notable de l'amélioration des affects positifs n'est relaté dans la littérature. Navarro-Haro et al. (2017) ont observé une diminution significative des émotions négatives après une séance de méditation en RV chez des méditant·e·s expérimenté·e·s. Toutefois, certains résultats sont plus nuancés : dans l'étude de Seabrook et al. (2020), seuls les affects positifs suggèrent un changement positif, tandis que les affects négatifs demeurent stables.

Deuxièmement, la sous-hypothèse H1b portait sur les effets de l'intervention méditative sur l'anxiété état. Contrairement aux attentes, aucun effet significatif n'a été constaté, ni en fonction du temps, ni selon le type de condition. Néanmoins, les statistiques descriptives ont mis en évidence une légère tendance à la hausse de l'anxiété état, un peu plus marquée dans la condition en RV. Il est important de souligner que cette augmentation est minime et non significative, ainsi il n'est pas possible d'en tirer une conclusion objective. La sous-hypothèse H1b est donc infirmée. Une explication possible de ces résultats est que ceux-ci soient liés à une légère élévation de l'excitation initiale induite par

l'environnement immersif de la RV et ainsi générer de l'anxiété anticipatoire face à l'utilisation de nouvelles technologies (Lombard & Driton, 1997, cités dans Jo et al., 2024).

Troisièmement, les résultats de la sous-hypothèse H1c indiquent un effet significatif du temps sur l'état de pleine conscience. Conformément aux résultats relatifs aux affects, aucun effet significatif de la condition ou de l'interaction de pleine conscience n'a été observé. La sous-hypothèse H1c est partiellement confirmée, dans la mesure où l'état de pleine conscience augmente après l'intervention, mais aucune différence n'est relevable en ce qui concerne le support méditatif. Cette absence de résultat pourrait être due à plusieurs facteurs, dont un manque de familiarité avec le support immersif et le contexte expérimental, une variabilité interindividuelle dans la capacité à s'immerger ou à se détendre ou encore la brièveté de l'intervention. Ces résultats appuient donc la littérature déjà existante. Seabrook et al. (2020) démontrent une augmentation élevée de l'état de pleine conscience après une session de méditation en RV. D'autres recherches de littératures démontrent les mêmes résultats (Navarro-Haro et al., 2017 ; Poetar et al., 2023). Ainsi, il semble clair que l'état de pleine conscience est étroitement lié à la pratique de la méditation de pleine conscience, et que son association à la RV montre un certain potentiel (Navarro-Haro et al., 2017 ; Seabrook et al., 2020). Toutefois, ces études ne comparent pas directement la RV à un groupe contrôle non immersif. C'est pourquoi il serait pertinent de répliquer ces recherches via des essais contrôlés et randomisés, afin de confirmer l'existence de ce lien, que notre propre étude n'a pas pu établir de manière significative.

La deuxième hypothèse postule que la pratique de la méditation induit une modulation positive de l'activité physiologique autonome, mesurée via deux indices temporels : la fréquence cardiaque moyenne et la variabilité de la fréquence cardiaque à court terme (RMSSD). Il était attendu que ces effets soient plus marqués dans la condition RV. L'analyse de la fréquence cardiaque moyenne a révélé un effet significatif du temps, indiquant une diminution après l'intervention, indépendamment du support utilisé. Ce résultat sous-entend que la pratique de la méditation induit un effet de relaxation global. Ces résultats sont cohérents avec l'étude de Morais et al. (2021), qui montrait une réduction de la fréquence cardiaque à la suite d'une séance de méditation. En revanche, aucun effet significatif de la condition, ni de l'interaction ont été découverts. L'essai randomisé de Jo et al. (2024) a révélé le même type de résultats. En effet, la FC a diminué significativement après une séance de méditation en RV, mais ne démontre aucune différence significative avec la séance de méditation non basée sur la RV (Jo et al., 2024).

Contrairement à la fréquence cardiaque moyenne, l'analyse du RMSSD révèle un profil plus contrasté : ni l'effet principal du temps, ni celui de la condition n'atteignent la significativité, même si

l'interaction Temps x Condition frôle le seuil critique. Les statistiques descriptives montrent en effet une augmentation de la variabilité parasympathique (RMSSD) après la séance vidéo, alors qu'une légère diminution est observée dans la condition RV. Cette tendance est confirmée par les tests non paramétriques de Wilcoxon, qui ne détectent une variation significative qu'en situation vidéo. Ainsi, les données contredisent partiellement notre hypothèse initiale, puisque c'est la modalité non immersive qui induit l'augmentation la plus nette de la variabilité cardiaque. Ce type de résultat a déjà été documenté dans la littérature. Par exemple, l'étude de Kazzi et al. (2018) montre que la RV peut maintenir une dominance du système sympathique après une tâche de stress, malgré une séance de méditation guidée en RV. Ces résultats indiquent que l'usage de la RV ne garantit pas nécessairement une activation parasympathique. Toutefois, ils doivent être interprétés avec prudence. Par exemple, plusieurs mécanismes biologiques peuvent se produire, et dans le cadre de cette recherche il n'est pas possible de les identifier dans les détails. Comme l'expliquent Shaffer et Ginsberg (2017), une VFC élevée n'est pas toujours synonyme de bonne santé, et peut parfois refléter un déséquilibre. Les phénomènes physiologiques sont complexes et dans le contexte de cette recherche, ni les antécédents médicaux des participant·e·s, ni l'expertise clinique requise pour interpréter en profondeur certaines variations physiologiques n'étaient à disposition. De plus dans les travaux de Morais et al. (2021), il est clairement stipulé que l'état de santé des participant·es influence les réponses physiologiques. De ce fait, les résultats de Morais et al. (2021) renforcent l'idée que des facteurs internes non contrôlés peuvent biaiser les résultats. Par ailleurs, plusieurs variables contextuelles ont pu biaiser les mesures physiologiques : la familiarité inégale des participant·e·s avec le dispositif immersif, l'inconfort ressenti lié à la cybersickness ou encore l'anxiété induite par la nouveauté technologique (Malińska et al., 2015). De surcroît, la forte variabilité interindividuelle observée dans le groupe RV suggère que les effets de l'immersion dépendent largement des caractéristiques personnelles – sensibilité au stress, expérience préalable de la méditation ou de la RV, propension à la relaxation, etc. – ce qui souligne la nécessité d'intégrer ces facteurs comme covariables dans les analyses futures pour en affiner l'interprétation.

Enfin, la dernière hypothèse H3 portait sur le niveau de satisfaction perçu par les participant·e·s à la suite de l'intervention en RV, mesuré à l'aide du questionnaire USEQ (Gil-Gómez et al., 2017). Les participant·es ont obtenu un niveau de satisfaction globalement élevé. Ces résultats, concordant avec la méta-analyse de Riches et al. (2021), soulignent que l'usage du dispositif est bien reçu et semble être facile à utiliser, compréhensible et agréable. Une expérience utilisateur·trice positive est un point essentiel dans l'évaluation du potentiel de la RV comme un outil de soutien à la méditation, notamment dans la perspective d'une application à long terme dans un milieu clinique. En effet, si le dispositif était perçu comme inconfortable, cela pourrait compromettre l'engagement

des utilisateurs·trice·s, mais aussi la qualité de leur expérience méditative. Cependant, les écarts-types montrent une variabilité interindividuelle notable. Effectivement, cette observation signifie que tous·tes les participant·e·s n'ont pas vécu l'expérience de la même manière, bien que les moyennes soient élevées. Cette constatation incite à porter une réflexion plus nuancée vis-à-vis des résultats, en considérant le fait qu'il est probable que certain·e·s participant·e·s ont probablement éprouvé de l'inconfort. Plusieurs facteurs liés au contexte expérimental pourraient l'expliquer. Notamment, l'ergonomie du casque de RV, placé par-dessus les électrodes EEG, a pu générer une gêne physique, comme des maux de tête (Dascal et al., 2017 ; Schultheis & Rizzo, 2001). Enfin, la courte durée de l'intervention en RV n'a peut-être pas permis à toutes et tous de s'adapter suffisamment pour profiter pleinement de l'expérience (Riches et al., 2023).

Limitations

Malgré l'intérêt de ces résultats, plusieurs limites doivent être prises en compte. Premièrement, il existe une grande variabilité interindividuelle, particulièrement marquée dans le groupe expérimental, comme constaté grâce aux écarts-types élevés. De plus, il existe une hétérogénéité importante parmi les participant·e·s concernant leur familiarité à la RV et à la méditation, leur pratique sportive, leur genre et leur branche d'étude. Ces constatations combinées à la petite taille de l'échantillon, entravent la généralisation à l'ensemble de la population et ne permettent pas de représenter la population mère. Deuxièmement, la séance de méditation ne durait que 10 minutes et reposait sur une unique pratique. Il est possible que cette brièveté n'ait pas été suffisante pour faire émerger des effets significatifs, profonds et stables. Troisièmement, le contexte expérimental a pu causer des perturbations et ainsi créer du stress. Bien que tout ait été mis en œuvre pour garantir des conditions confortables et propices à la détente, plusieurs éléments ont potentiellement pu biaiser les effets de la méditation, tels que le bruit des travaux dans la salle voisine (non prévu), le port du casque de RV par-dessus les électrodes EEG et l'installation des mesures physiologiques. De plus, certain·e·s participant·e·s semblaient stressé·e·s à l'idée de réaliser la tâche de récompenses ou d'être mesuré·e·s sur leurs réactions physiologiques, malgré les garanties d'anonymat et l'absence de jugement. Enfin, il est vrai que le protocole expérimental présentait certaines limites en termes de rigueur. Par exemple, les méditations proposées en vidéo et en RV n'étaient pas totalement identiques pouvant biaiser la comparaison entre les deux conditions. Elles étaient en anglais, ce qui pourrait nuire à l'immersion pour les participant·e·s dont le niveau d'anglais n'était pas totalement maîtrisé. De plus, les marqueurs temporels liés aux mesures physiologiques n'ont pas toujours été effectués au même moment, en raison d'oubli ou de variations dans la durée des tâches selon les participant·e·s.

Conclusion

En définitive, ce projet avait pour objectif d'explorer les effets de la RV sur la pratique de la MPC. Pour explorer ce lien le plus pertinemment possible, un groupe expérimental, réalisant une méditation en RV, a été comparé à un groupe contrôle suivant une méditation guidée via un support audio-vidéo sur ordinateur. À travers cette approche comparative, combinant des mesures comportementales et physiologiques, l'étude tentait d'évaluer la pertinence de la réalité virtuelle (RV) en tant que support pour favoriser les effets de la méditation de pleine conscience chez des individus en bonne santé.

De manière générale, les résultats suggèrent que la méditation, quel que soit le support, exerce des effets bénéfiques sur le bien-être momentané. Néanmoins, les effets spécifiques relatifs à la RV ne peuvent être confirmés de manière significative, ni sur le plan subjectif (mesures comportementales), ni sur le plan objectif (mesures physiologiques). Soulignons tout de même que la satisfaction des participant-es face au dispositif de RV était élevée, témoignant d'un bon accueil du dispositif. De ce fait, la RV en tant qu'outil facilitateur de la méditation semble présenter un certain potentiel d'adhésion. Cependant l'interprétation de ces résultats requiert de faire preuve de prudence, en raison de certaines limites méthodologiques, notamment la durée brève et non régulière de l'intervention, la petite taille et l'hétérogénéité de l'échantillon. De plus, la grande variabilité observée laisse supposer que la familiarité avec la RV, la disposition à la relaxation (état et trait) ou l'état émotionnel initial pourraient moduler négativement l'impact de l'expérience immersive.

Pour affiner ces observations préliminaires, il existe différentes pistes de recherches futures. D'une part, des études longitudinales, en proposant des interventions répétées, permettraient de mieux explorer les effets à long terme de la RV sur la pratique de la méditation, et ainsi offrir un temps d'adaptation plus conséquent aux participant-es (Riches et al., 2024, 2023). D'autre part, il est important d'adopter une méthodologie rigoureuse, tant au niveau de la standardisation des contenus méditatifs que de l'échantillonnage. Effectivement, cette analyse permettrait d'évaluer plus précisément les bénéfices potentiels de ce dispositif technologique prometteur et de limiter les biais méthodologiques. Pour terminer, rappelons que l'intégration de la RV dans des programmes de pleine conscience publics liés à la gestion du stress au travail, la prévention du stress scolaire ou la prise en charge des douleurs chroniques, constitue une perspective encourageante. De ce fait, il est plus qu'important de poursuivre les recherches afin d'évaluer rigoureusement l'efficacité et l'accessibilité de ces dispositifs.



Notes : Article édité par Jeremiah Schenk, Département de psychologie, Unité de psychologie clinique et de la santé, Université de Fribourg, jeremiah.schenk@unifr.ch

Références

1. Baer, R. A. (2003). Mindfulness training as a clinical intervention: A conceptual and empirical review. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 10(2), 125-143. <https://doi.org/10.1093/clipsy.bpg015>
2. Benedek, M., & Kaernbach, C. (2010). A continuous measure of phasic electrodermal activity. *Journal of Neuroscience Methods*, 190(1), 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2010.04.028>
3. Blase, K. L., & van Wanig, A. (2019). Heart Rate Variability, Cortisol and Attention Focus During Shamatha Quiescence Meditation. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 44(4), 331-342. <https://doi.org/10.1007/s10484-019-09448-w>
4. Cawley, A., & Tejeiro, R. (2024). Brief virtual reality mindfulness is more effective than audio mindfulness and colouring in reducing stress in university students. *Mindfulness*, 15(2), 272-281. <https://doi.org/10.1007/s12671-024-02306-9>
5. Ch, N. A. N., Ansah, A. A., Katrahmani, A., Burmeister, J., Kun, A. L., Mills, C., Shaer, O., & Lee, J. D. (2023). Virtual nature experiences and mindfulness practices while working from home during COVID-19 : Effects on stress, focus, and creativity. *International Journal of Human- Computer Studies*, 171, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102982>
6. Chiesa, A., & Serretti, A. (2010). A systematic review of neurobiological and clinical features of mindfulness meditations. *Psychological Medicine*, 40(8), 1239-1252. <https://doi.org/10.1017/S0033291709991747>
7. Critchley, H. D. (2002). Electrodermal responses: What happens in the brain. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, 8(2), 132-142. <https://doi.org/10.1177/107385840200800209>
8. Crosswell, L., & Yun, G. W. (2022). Examining virtual meditation as a stress management strategy on college campuses through longitudinal, quasi-experimental research. *Behaviour & Information Technology*, 41(4), 864-878. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2020.1838609>
9. Dascal, J., Reid, M., Ishak, W. W., Spiegel, B., Recacho, J., Rosen, B., & Danovitch, I. (2017). Virtual Reality and Medical Inpatients: A Systematic Review of Randomized, Controlled Trials. *Innovations in Clinical Neuroscience*, 14(1-2), 14-21.
10. Datta, P., Kaur, A., Sassi, N., Gulzar, Y., & Jaziri, W. (2024). An evaluation of intelligent and immersive digital applications in eliciting cognitive states in humans through the utilization of Emotiv Insight. *Methods X*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102748>
11. De Paula, D. M. B., & Moretti, L. (2021). Virtual reality in the practice of mindfulness in psychotherapy: A narrative review. *Psicologia em Estudo*, 26.
12. Failla, C., Marino, F., Bernardelli, L., Gaggioli, A., Doria, G., Chilà, P., Minutoli, R., Mangano, R., Torrisi, R., Tartarisco, G., Bruschetta, R., Arcuri, F., Cerasa, A., & Pioggia, G. (2022). Mediating Mindfulness-Based Interventions with Virtual Reality in Non-Clinical Populations: The State-of-the-Art. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 10(7), 1220.
13. <https://doi.org/10.3390/healthcare10071220>
14. Fairburn, C. G., & Patel, V. (2017). The impact of digital technology on psychological treatments and their dissemination. *Behaviour Research and Therapy*, 88, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2016.08.012>
15. Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine*, 47(14), 2393-2400. <https://doi.org/10.1017/S003329171700040X>

16. Gao, D., Su, Y., Zhang, X., Li, H., & Luo, H. (2024). The application of virtual reality meditation and mind-body exercises among older adults. *Frontiers in Psychology*, 15, 1303880. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1303880>
17. Gibbons, C. H. (2019). Basics of autonomic nervous system function. *Handbook of Clinical Neurology*, 160, 407-418. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64032-1.00027-8>
18. Gil-Gómez, J.-A., Manzano-Hernández, P., Albiol-Pérez, S., Aula-Valero, C., Gil-Gómez, H., & Lozano-Quilis, J.-A. (2017). USEQ: A Short Questionnaire for Satisfaction Evaluation of Virtual Rehabilitation Systems. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(7), 1589. <https://doi.org/10.3390/s17071589>
19. Goldberg, S. B., Tucker, R. P., Greene, P. A., Davidson, R. J., Wampold, B. E., Kearney, D. J., & Simpson, T. L. (2018). Mindfulness-based interventions for psychiatric disorders: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, 59, 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2017.10.011>
20. González-Valero, G., Zurita-Ortega, F., Ubago-Jiménez, J. L., & Puertas-Molero, P. (2019). Use of Meditation and Cognitive Behavioral Therapies for the Treatment of Stress, Depression and Anxiety in Students. A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4394. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224394>
21. Goyal, M., Singh, S., Sibinga, E. M. S., Gould, N. F., Rowland-Seymour, A., Sharma, R., Berger, Z., Sleicher, D., Maron, D. D., Shihab, H. M., Ranasinghe, P. D., Linn, S., Saha, S., Bass, E. B., & Haythornthwaite, J. A. (2014). Meditation programs for psychological stress and well-being: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Internal Medicine*, 174(3), 357-368. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.13018>
22. Hoge, E. A., Bui, E., Mete, M., Dutton, M. A., Baker, A. W., & Simon, N. M. (2023). Mindfulness-Based Stress Reduction vs Escitalopram for the Treatment of Adults with Anxiety Disorders: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Psychiatry*, 80(1), 13-21. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2022.3679>
23. Jo, M., Kim, E., & Lee, J. (2024). Virtual reality vs. imagery: Comparing approaches in guided meditation. *Frontiers in Psychology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1472780>
24. Kabat-Zinn, J. (2003). Mindfulness-based interventions in context: Past, present, and future.
25. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 10(2), 144-156. <https://doi.org/10.1093/clipsy.bpg016>
26. Keng, S.-L., Smoski, M. J., & Robins, C. J. (2011). Effects of mindfulness on psychological health: A review of empirical studies. *Clinical Psychology Review*, 31(6), 1041-1056. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2011.04.006>
27. Khoury, B., Lecomte, T., Fortin, G., Masse, M., Therien, P., Bouchard, V., Chapleau, M.-A., Paquin, K., & Hofmann, S. G. (2013). Mindfulness-based therapy: A comprehensive meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, 33(6), 763-771. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2013.05.005>
28. Khoury, B., Sharma, M., Rush, S. E., & Fournier, C. (2015). Mindfulness-based stress reduction for healthy individuals: A meta-analysis. *Journal of Psychosomatic Research*, 78(6), 519-528. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2015.03.009>
29. Kuyken, W., Warren, F. C., Taylor, R. S., Whalley, B., Crane, C., Bondolfi, G., Hayes, R., Huijbers, M., Ma, H., Schweizer, S., Segal, Z., Speckens, A., Teasdale, J. D., Van Heeringen, K., Williams, M., Byford, S., Byng, R., & Dagleish, T. (2016). Efficacy of Mindfulness-Based Cognitive Therapy in Prevention of Depressive Relapse: An Individual Patient Data Meta-

- Analysis from Randomized Trials. *JAMA Psychiatry*, 73(6), 565-574. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2016.0076>
31. Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Frontiers in Psychology*, 8, 213. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
32. Landmann, S., Cludius, B., Tuschen-Caffier, B., Moritz, S., & Külz, A. K. (2020). Changes in the daily life experience of patients with obsessive-compulsive disorder following mindfulness-based cognitive therapy: Looking beyond symptom reduction using ecological momentary assessment. *Psychiatry Research*, 286, 112842. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.112842>
33. Lutz, A., Jha, A. P., Dunne, J. D., & Saron, C. D. (2015). Investigating the Phenomenological Matrix of Mindfulness-related Practices from a Neurocognitive Perspective. *The American Psychologist*, 70(7), 632-658. <https://doi.org/10.1037/a0039585>
34. Lutz, A., Slagter, H. A., Dunne, J. D., & Davidson, R. J. (2008). Attention regulation and monitoring in meditation. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(4), 163-169. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.01.005>
35. Ma, J., Zhao, D., Xu, N., & Yang, J. (2023). The effectiveness of immersive virtual reality (VR) based mindfulness training on improvement mental health in adults: A narrative systematic review. *Explore (New York, N.Y.)*, 19(3), 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2022.08.001>
36. Malińska, M., Zużewicz, K., Bugajska, J., & Grabowski, A. (2015). Heart rate variability (HRV) during virtual reality immersion. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics: JOSE*, 21(1), 47-54. <https://doi.org/10.1080/10803548.2015.1017964>
37. Maples-Keller, J. L., Bunnell, B. E., Kim, S.-J., & Rothbaum, B. O. (2017). The Use of Virtual Reality Technology in the Treatment of Anxiety and Other Psychiatric Disorders. *Harvard Review of Psychiatry*, 25(3), 103-113. <https://doi.org/10.1097/HRP.0000000000000138>
38. Marteau, T. M., & Bekker, H. (1992). The development of a six-item short-form of the state scale of the Spielberger State-Trait Anxiety Inventory (STA). *The British Journal of Clinical Psychology*, 31(3), 301-306. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8260.1992.tb00997.x>
39. McCorry, L. K. (2007). Physiology of the autonomic nervous system. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 71(4), 78. <https://doi.org/10.5688/aj710478>
40. Mistry, D., Zhu, J., Tremblay, P., Wekerle, C., Lanius, R., Jetly, R., & Frewen, P. (2020). Meditating in virtual reality: Proof-of-concept intervention for posttraumatic stress. *Psychological Trauma: Theory, Research, Practice and Policy*, 12(8), 847-858. <https://doi.org/10.1037/tra0000959>
41. Modrego-Alarcón, M., López-del-Hoyo, Y., García-Campayo, J., Pérez-Aranda, A., Navarro-Gil, M., Beltrán-Ruiz, M., Morillo, H., Delgado-Suarez, I., Oliván-Arévalo, R., & Montero-Marin, J. (2021). Efficacy of a mindfulness-based programme with and without virtual reality support to reduce stress in university students: A randomized controlled trial. *Behaviour Research and Therapy*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2021.103866>
42. Morais, P., Quaresma, C., Vigário, R., & Quintão, C. (2021). Electrophysiological effects of mindfulness meditation in a concentration test. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 59(4), 759-773. <https://doi.org/10.1007/s11517-021-02332-y>
43. Navarro-Haro, M. V., López-del-Hoyo, Y., Campos, D., Linehan, M. M., Hoffman, H. G., García-Palacios, A., Modrego-Alarcon, M., Borao, L., & García-Campayo, J. (2017).

- Meditation experts try Virtual Reality mindfulness: A pilot study evaluation of the feasibility and acceptability of Virtual Reality to facilitate mindfulness practice in people attending a mindfulness conference. *PLoS ONE*, 12(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187777>
44. Navarro-Haro, M. V., Modrego-Alarcón, M., Hoffman, H. G., López-Montoyo, A., Navarro-Gil, M., Montero-Marin, J., García-Palacios, A., Bora, L., & García-Campayo, J. (2019). Evaluation of a Mindfulness-Based Intervention With and Without Virtual Reality Dialectical Behavior Therapy® Mindfulness Skills Training for the Treatment of Generalized Anxiety Disorder in Primary Care: A Pilot Study. *Frontiers in Psychology*, 10, 55. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00055>
45. Nyklíček, I., van Son, J., Pop, V. J., Denollet, J., & Pouwer, F. (2016). Does Mindfulness-Based Cognitive Therapy benefit all people with diabetes and comorbid emotional complaints equally? Moderators in the DiaMind trial. *Journal of Psychosomatic Research*, 91, 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2016.10.009>
46. Office fédéral de la statistique (OFS). (2025, September). *Santé psychique*. <https://www.bfs.admin.ch/content/bfs/fr/home/statistiques/sante/etat-sante/psychique.html>
47. Park, C., Youn, I., & Han, S. (2022). Single-lead ECG based autonomic nervous system assessment for meditation monitoring. *Scientific Reports*, 12(1), 22513. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27121-x>
48. Park, M. J., Kim, D. J., Lee, U., Na, E. J., & Jeon, H. J. (2019). A Literature Overview of Virtual Reality (VR) in Treatment of Psychiatric Disorders: Recent Advances and Limitations. *Frontiers in Psychiatry*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00505>
49. Pascoe, M. C., Thompson, D. R., Jenkins, Z. M., & Ski, C. F. (2017). Mindfulness mediates the physiological markers of stress: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Psychiatric Research*, 95, 156-178. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2017.08.004>
50. Poetar, C.-R., Bradley, N., & Voinescu, A. (2023). Immersive virtual reality or computerised mindfulness meditation for improving mood? Preliminary efficacy from a pilot randomised trial. *Frontiers in Psychology*, 14, 1157469. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1157469>
51. Pumprla, J., Howorka, K., Groves, D., Chester, M., & Nolan, J. (2002). Functional assessment of heart rate variability: Physiological basis and practical applications. *International Journal of Cardiology*, 84(1), 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0167-5273\(02\)00057-8](https://doi.org/10.1016/S0167-5273(02)00057-8)
52. Riches, S., Azevedo, L., Bird, L., Pisani, S., & Valmaggia, L. (2021). Virtual reality relaxation for the general population: A systematic review. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 56(10), 1707-1727. <https://doi.org/10.1007/s00127-021-02110-z>
53. Riches, S., Jeyarajaguru, P., Taylor, L., Fialho, C., Little, J., Ahmed, L., O'Brien, A., van Driel, C., Veling, W., & Valmaggia, L. (2023). Virtual reality relaxation for people with mental health conditions: A systematic review. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 58(7), 989-1007. <https://doi.org/10.1007/s00127-022-02417-5>
54. Riches, S., Taylor, L., Jeyarajaguru, P., Veling, W., & Valmaggia, L. (2024). Virtual reality and immersive technologies to promote workplace wellbeing: A systematic review. *Journal of Mental Health (Abingdon, England)*, 33(2), 253-273. <https://doi.org/10.1080/09638237.2023.2182428>
55. Riegner, G., Dean, J., Wager, T. D., & Zeidan, F. (2025). Mindfulness Meditation and Placebo Modulate Distinct Multivariate Neural Signatures to Reduce Pain. *Biological Psychiatry*, 97(1), 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2024.08.023>

56. S, S., & Ce, C. (2021). Future of Neurology & Technology: Virtual and Augmented Reality in Neurology and Neuroscience Education: Applications and Curricular Strategies. *Neurology*, 97(15). <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000012413>
57. Schultheis, M., & Rizzo, A. (2001). The application of virtual reality technology in rehabilitation. *Rehabilitation Psychology*, 46, 296-311. <https://doi.org/10.1037/0090-5550.46.3.296>
58. Seabrook, E., Kelly, R., Foley, F., Theiler, S., Thomas, N., Wadley, G., & Nedeljkovic, M. (2020). Understanding How Virtual Reality Can Support Mindfulness Practice: Mixed Methods Study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(3), e16106. <https://doi.org/10.2196/16106>
59. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5, 258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
60. Sipe, W. E. B., & Eisendrath, S. J. (2012). Mindfulness-based cognitive therapy: Theory and practice. *Canadian Journal of Psychiatry. Revue Canadienne De Psychiatrie*, 57(2), 63-69. <https://doi.org/10.1177/070674371205700202>
61. Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., Lushene, R. E., Vagg, P. R., & Jacobs, G. A. (1983). *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory (Form Y)*. Consulting Psychologists Press.
62. Spielberger, C. D. (2015). *State-Trait Anxiety Inventory for Adults Manual* (pp. 1–83). Menlo Park, CA: Mind Garden, Inc.
63. Srivastava, K., Chaudhury, S., Dhamija, S., Prakash, J., & Chatterjee, K. (2020). Digital technological interventions in mental health care. *Industrial Psychiatry Journal*, 29(2), 181-184. https://doi.org/10.4103/ijp.ipj_32_21
64. Tanay, G., & Bernstein, A. (2013). State Mindfulness Scale (SMS) : Development and initial validation. *Psychological Assessment*, 25(4), 1286-1299. <https://doi.org/10.1037/a0034044>
65. Tandon, T., Piccolo, M., Ledermann, K., Gupta, R., Morina, N., & Martin-Soelch, C. (2022). Relationship between behavioral and mood responses to monetary rewards in a sample of Indian students with and without reported pain. *Scientific Reports*, 12(1), 20242. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24821-2>
66. Thomas, C. L., & Cassady, J. C. (2021). Validation of the State Version of the State-Trait Anxiety Inventory in a University Sample. *SAGE Open*, 11(3), 21582440211031900. <https://doi.org/10.1177/21582440211031900>
67. Van Dam, N. T., van Vugt, M. K., Vago, D. R., Schmalzl, L., Saron, C. D., Olendzki, A., Meissner, T., Lazar, S. W., Kerr, C. E., Gorchov, J., Fox, K. C. R., Field, B. A., Britton, W. B., Brefczynski-Lewis, J. A., & Meyer, D. E. (2018). Mind The Hype: A Critical Evaluation and Prescriptive Agenda for Research on Mindfulness and Meditation. *Perspectives on psychological science: a journal of the Association for Psychological Science*, 13(1), 36-61. <https://doi.org/10.1177/1745691617709589>
68. Ventura, S., Brivio, E., Riva, G., & Baños, R. M. (2019). Immersive Versus Non-Immersive Experience: Exploring the Feasibility of Memory Assessment Through 360° Technology. *Frontiers in Psychology*, 10, 2509. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02509>
69. Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(6), 1063-1070. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.54.6.1063>
70. Wielgosz, J., Goldberg, S. B., Kral, T. R. A., Dunne, J. D., & Davidson, R. J. (2019). Mindfulness Meditation and Psychopathology. *Annual Review of Clinical Psychology*, 15, 285-316. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-021815-093423>

-
73. Williams, J. M. G., & Kabat-Zinn, J. (2011). Mindfulness: Diverse perspectives on its meaning, origins, and multiple applications at the intersection of science and dharma. *Contemporary Buddhism*, 12(1), 1-18. <https://doi.org/10.1080/14639947.2011.564811>
74. Zhang, J., Díaz-Román, A., & Cortese, S. (2018). Meditation-based therapies for attention-deficit/hyperactivity disorder in children, adolescents and adults: A systematic review and meta-analysis. *Evidence-Based Mental Health*, 21(3), 87-94. <https://doi.org/10.1136/ebmental-2018-300015>