

Licence : Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



MÉDITATION DE PLEINE CONSCIENCE EN RÉALITÉ VIRTUELLE ET EN AUDIOGUIDE : EFFETS COMPARABLES SUR LES AFFECTS ET L'ANXIÉTÉ D'ÉTAT DANS UNE POPULATION ADULTE

Sophie Dafflon¹⁻²

¹ Unité de psychologie clinique et de la santé, Université de Fribourg, Suisse

*Auteur·e correspondant·e : Sophie Dafflon, sophie.dafflon2@unifr.ch

Citation : Dafflon, S., (2026). Méditation de pleine conscience en réalité virtuelle et en audioguide : effets comparables sur les affects et l'anxiété d'état dans une population adulte. *Cortica*, 5(2), 11–173.
<https://doi.org/10.26034/cortica.2026.11659> (rédaction)

Résumé

La présente étude examine si l'intégration de la réalité virtuelle (RV) dans une pratique de méditation de pleine conscience amplifie les effets de celle-ci sur la régulation émotionnelle, l'anxiété et la sensibilité à la récompense, comparativement à une méditation audioguidée traditionnelle. Au total, 94 adultes ont été réparti·e·s en deux conditions (RV vs audioguide). Les affects positifs et négatifs (PANAS-SF), l'anxiété d'état (STAI-Y-A), la variabilité de la fréquence cardiaque (via le RMSSD), ainsi que la performance à la Fribourg Reward Task (FRT) ont été mesurés avant et après une séance de méditation. Une analyse de modération a également examiné le rôle de la familiarité avec la RV. Les résultats indiquent une diminution significative des affects négatifs ainsi qu'une réduction de l'anxiété d'état après la méditation, indépendamment de la condition expérimentale. La légère diminution des affects positifs observée dans les deux groupes est attribuable au biais de mesure du PANAS-SF, dont les items reflètent un affect à haute activation peu compatible avec les états de calme et d'équanimité induits par la pleine conscience. Aucun effet de la méditation ni du type de condition sur la performance à la FRT n'a été observé, quel que soit le type de récompense (sociale, monétaire ou absente), résultat pouvant s'expliquer par le niveau de difficulté cognitif insuffisant de la version de la tâche utilisée. Aucune supériorité de la RV n'a été observée, et la familiarité avec la RV ne modère pas la relation entre RMSSD et anxiété. Ces résultats suggèrent que les bénéfices observés relèvent principalement de la pratique méditative elle-même plutôt que du support technologique, et que l'intégration de séances de méditation constitue une intervention complémentaire pertinente en contexte clinique et préventif pour favoriser la régulation émotionnelle.

Mots clés : réalité virtuelle, pleine conscience, régulation émotionnelle, variabilité de la fréquence cardiaque, performance cognitive

Abstract

The present study examines whether integrating virtual reality (VR) into a mindfulness meditation practice enhances its effects on emotional regulation, anxiety, and reward sensitivity, compared to traditional audio-guided meditation. A total of 94 adults were assigned to one of two conditions (VR vs. audio-guided). Positive and negative affects (PANAS-SF), state anxiety (STAI-Y-A), heart rate variability (via RMSSD), and performance on the Fribourg Reward Task (FRT) were measured before and after a meditation session. A moderation analysis also examined the role of VR familiarity. Results indicate a significant decrease in negative affect and state anxiety following meditation, regardless of experimental condition. The slight decrease in positive affect observed in both groups is attributable to a measurement bias inherent to the PANAS-SF, whose items reflect high-activation positive affect and are therefore poorly suited to capturing the states of calm and equanimity characteristic of mindfulness practice. No effect of meditation or condition on FRT performance was observed, regardless of reward type (social, monetary, or absent), a finding potentially explained by the insufficient cognitive difficulty of the task version employed. No superiority of VR was observed, and VR familiarity did not moderate the relationship between RMSSD and anxiety. These findings suggest that the observed benefits are primarily attributable to the meditative practice itself rather than to the technological medium, and that integrating meditation sessions represents a relevant complementary intervention in both clinical and preventive settings to support emotional regulation.

Keywords : virtual reality, mindfulness, emotional regulation, heart rate variability, cognitive performance

Introduction

La santé mentale constitue aujourd'hui un enjeu majeur de santé publique : plus d'un milliard de personnes vivent avec des troubles mentaux dans le monde (Organisation mondiale de la Santé [OMS], 2022). Face à cette situation, l'OMS appelle à une transformation globale de la prise en charge de la santé mentale, encourageant chaque pays, en fonction de son contexte et de ses ressources, à promouvoir le bien-être psychique, à améliorer les environnements de vie et à renforcer l'accès à des soins communautaires de qualité (OMS, 2022). Dans cette perspective, il apparaît nécessaire de diversifier et d'enrichir les modalités de prise en charge existantes, notamment par le développement d'interventions innovantes susceptibles de répondre aux

besoins actuels (Patel et al., 2018). C'est dans ce contexte que les technologies immersives suscitent un intérêt croissant.

Au cours des dernières années, la réalité virtuelle s'est progressivement développée dans de nombreux domaines, y compris celui de la psychologie. Elle est aujourd'hui utilisée comme une intervention efficace dans la prise en charge de divers troubles, dont les troubles de l'humeur, l'anxiété et les phobies (Cieślik et al., 2020). Parallèlement, la méditation, et plus particulièrement la méditation de pleine conscience, repose sur un entraînement de l'esprit visant à porter une attention volontaire au moment présent, avec acceptation et sans jugement (Kabat-Zinn, 2003). Cette pratique consiste à observer l'expérience telle qu'elle se présente, sans chercher à la modifier ou à l'évaluer, dans le but de favoriser le bien-être psychique (Bondolfi & Stiefel, 2023). Toutefois, malgré ses bénéfices reconnus, de nombreux pratiquant·e·s rencontrent des difficultés à maintenir une posture immobile et une attention soutenue, souvent perturbées par des stimuli externes (Navarro-Haro et al., 2017).

Dans ce cadre, la réalité virtuelle pourrait constituer une solution innovante à ces difficultés. Grâce à son caractère immersif, elle offre un environnement structuré et engageant, susceptible de favoriser la concentration et de soutenir l'attention durant la pratique méditative, tout en permettant une plus grande flexibilité quant au lieu et au moment de la pratique (Wang et al., 2022). L'association de la réalité virtuelle à la méditation de pleine conscience apparaît ainsi prometteuse, mais son efficacité relative par rapport à des modalités plus conventionnelles demeure encore à préciser.

En effet, la littérature scientifique présente des résultats contrastés concernant l'efficacité de la méditation de pleine conscience pratiquée en réalité virtuelle, comparativement à une méditation audioguidée classique, notamment en ce qui concerne la régulation émotionnelle. Certaines études rapportent des effets bénéfiques supérieurs de la réalité virtuelle (Gentile & Kim, 2024), tandis que d'autres ne mettent en évidence aucune différence significative entre ces deux modalités (Poetar et al., 2023). Ces divergences soulignent la nécessité d'approfondir les connaissances dans ce domaine afin de mieux comprendre les conditions dans lesquelles la réalité virtuelle pourrait constituer un apport spécifique.

Par ailleurs, la méditation de pleine conscience est associée à des effets positifs sur plusieurs fonctions cognitives, telles que l'attention, les fonctions exécutives et la mémoire de travail (Chiesa et al., 2011). Pourtant, à ce jour, peu d'études ont comparé de manière systématique l'impact de la méditation en réalité virtuelle à celui d'une méditation audioguidée sur la performance cognitive. De plus, les liens entre les processus de régulation émotionnelle, les

indicateurs physiologiques associés au fonctionnement du système nerveux autonome et les niveaux d'anxiété perçue restent encore insuffisamment explorés dans ce contexte.

Dès lors, la présente étude vise à examiner et à comparer les effets de la méditation de pleine conscience pratiquée en réalité virtuelle et de la méditation audioguidée classique sur la régulation émotionnelle, la performance à une tâche cognitive et l'anxiété d'état. Elle s'intéresse également au rôle potentiel de facteurs individuels, tels que la familiarité avec l'environnement de réalité virtuelle, dans l'efficacité de ces pratiques.

Afin de répondre à ces objectifs, ce travail présente tout d'abord le contexte théorique dans lequel sont définies les principales notions et problématiques de l'étude. La méthodologie employée est ensuite détaillée, avant la présentation des résultats obtenus. Enfin, ces résultats sont discutés à la lumière du cadre théorique, en mettant en évidence leurs implications cliniques ainsi que les perspectives futures de recherche.

Contexte théorique

La pleine conscience comme intervention psychologique

Définition et origine

La méditation de pleine conscience (mindfulness) est définie comme la capacité à porter intentionnellement son attention sur l'expérience vécue dans l'instant présent, tout en adoptant une attitude de curiosité, d'ouverture et d'acceptation (Kabat-Zinn, 2003). Cette conception met en évidence une dimension intentionnelle de l'attention ainsi qu'une posture non jugeante vis-à-vis des contenus de l'expérience.

A l'origine, la pleine conscience trouve ses racines dans les traditions contemplatives bouddhistes, au sein desquelles elle constitue une pratique centrale du développement de la conscience (Brown & Ryan, 2003). Toutefois, ces pratiques ont été adaptées à un cadre non confessionnel et scientifique dans le but de permettre leur intégration dans le champ de la psychologie et de la médecine contemporaines (Keng et al., 2011). En effet, dans les années 1970, Jon Kabat-Zinn introduit la pleine conscience dans le domaine clinique en développant le programme Mindfulness-Based Stress Reduction (MBSR), un programme structuré de réduction du stress fondé sur des pratiques de pleine conscience (Kabat-Zinn, 2003). Conçu au départ pour des patient·e·s atteint·e·s de douleurs chroniques et de troubles associés au stress, le programme MBSR a été élaboré comme une intervention laïque, dépourvue de toute connotation religieuse, afin d'en faciliter l'utilisation dans plusieurs contextes cliniques et scientifiques (Kabat-Zinn, 2003). Par la suite, la mindfulness a été intégrée à des programmes de thérapie cognitive,

donnant naissance à la Mindfulness-Based Cognitive Therapy (MBCT), qui combine la méditation de pleine conscience et les techniques de la thérapie cognitive afin d'aider les patient·e·s à développer une conscience décentrée de leurs pensées et de leurs émotions, contribuant ainsi à la prévention des rechutes dépressives (Segal et al., 2016).

Au cours de ces dernières années, l'émergence de la méditation de pleine conscience guidée, définie comme une pratique au cours de laquelle les participant·e·s suivent des instructions verbales délivrées par un·e intervenant·e ou via un support audio, s'est imposée comme une méthode d'entraînement mental visant à améliorer certaines fonctions cognitives et à favoriser la régulation émotionnelle (Basso et al., 2018). La méditation de pleine conscience guidée peut être conceptualisée à travers deux styles cognitifs distincts. La première, la méditation à *attention focalisée* consiste à diriger et à maintenir volontairement l'attention sur un objet précis tel que la respiration, une sensation corporelle ou un son, et à ramener l'attention vers cet objet lorsque survient une distraction. Puis, la seconde, la méditation de *surveillance ouverte*, quant à elle, implique le maintien d'un champ attentionnel élargi, permettant d'observer les pensées, émotions et sensations au fur et à mesure de leur émergence, sans sélectionner d'objet particulier ni y réagir, dans une attitude de non-jugement et d'acceptation (Lutz et al., 2008).

Effets de la pleine conscience sur la régulation émotionnelle

La régulation émotionnelle correspond aux processus par lesquels les individus modulent leurs réponses émotionnelles afin de s'adapter aux exigences internes et environnementales (Gross, 1998). Dans la perspective des modèles de régulation émotionnelle, l'anxiété peut être comprise comme l'expression de processus de régulation peu flexibles, notamment lorsque l'individu tente de contrôler ou d'éviter ses états internes désagréables. Bien que ces stratégies puissent réduire la détresse à court terme, elles tendent à maintenir, voir à amplifier, la réactivité émotionnelle et physiologique. À l'opposé, une régulation fondée sur l'acceptation et l'intégration des expériences internes favorise une adaptation plus souple aux émotions, généralement associée à un meilleur bien-être psychologique (Gross & Jazaieri, 2014).

Sur le plan neurocognitif, la méta-analyse de Kohn et al. (2013) met en évidence un modèle heuristique de la régulation émotionnelle fondé sur l'activation coordonnée de plusieurs régions cérébrales impliquées dans le traitement des émotions, en lien avec le modèle de régulation émotionnelle proposé par Gross (1998). Plus précisément, dans une première *phase d'évaluation affective*, les signaux émotionnels provenant des structures sous-corticales (notamment l'amygdale) sont transmis au cortex préfrontal ventrolatéral (VLPFC) et à l'insula

antérieure, qui détectent la saillance émotionnelle du stimulus et évaluent la nécessité d'engager une régulation. Dans une deuxième *phase d'initiation du contrôle*, le cortex préfrontal dorsolatéral (DLPFC) est recruté pour mobiliser des fonctions de contrôle cognitif (mémoire de travail, sélection attentionnelle, inhibition, manipulation de nouvelles interprétations) permettant de mettre en place la stratégie de régulation. De plus, le cortex cingulaire moyen antérieur (aMCC) constitue un nœud de médiation et d'intégration qui coordonne les composantes cognitives, motrices/prémotrices et affectives, en reliant la détection du besoin de réguler à l'élaboration puis à la mise en œuvre effective de la stratégie de contrôle. Enfin, lors de la *phase d'exécution*, la SMA (aires motrices supplémentaires), le gyrus temporal supérieur (STG) et le gyrus angulaire soutiennent la mise en œuvre concrète de la régulation (représentation mentale, reformulation, verbalisation interne, imagerie et simulation sensorimotrice), permettant de reconstruire la situation selon une nouvelle interprétation et d'aboutir à un état émotionnel régulé (Kohn et al., 2013). Des difficultés dans la régulation émotionnelle sont associées à une vulnérabilité accrue à différents troubles psychopathologiques, en particulier les troubles anxieux et dépressifs (Aldao et al., 2010). Dans cette perspective, la pleine conscience a été étudiée comme une approche susceptible de favoriser une régulation émotionnelle plus adaptative (Keng et al., 2011).

La pleine conscience permet de diminuer les symptômes anxieux et dépressifs expliqués par différents mécanismes d'action (Ngô, 2014). Tout d'abord, cette forme de méditation favorise l'émergence de la conscience métacognitive permettant d'observer ses propres pensées et émotions sans s'y identifier, en les reconnaissant comme des expériences mentales passagères plutôt que comme des reflets fidèles de la réalité (Hargus et al., 2010).

Ensuite, la pratique de la pleine conscience est associée à une diminution de la réactivité émotionnelle face aux stimuli négatifs ou stressants (Arch & Craske, 2006). Les individus présentant des niveaux plus élevés de pleine conscience montrent une intensité émotionnelle négative réduite ainsi qu'un retour plus rapide à un état émotionnel de base après une situation stressante (Davidson et al., 2003). Ces effets suggèrent que la pleine conscience modifie la dynamique des réponses émotionnelles sans impliquer une suppression des émotions (Bishop et al., 2004).

Par ailleurs, la pleine conscience est associée à une diminution de l'utilisation de stratégies de régulation émotionnelle dysfonctionnelles, telles que la rumination (Chambers et al., 2007). La réduction de la rumination est particulièrement pertinente dans la mesure où cette stratégie est impliquée dans le maintien des affects négatifs et de la détresse psychologique (Nolen-Hoeksema et al., 2008). La pleine conscience contribuerait ainsi à interrompre les processus de pensées répétitives négatives associées aux émotions désagréables (Gu et al., 2015).

La pratique de la pleine conscience est également associée à une augmentation de l'utilisation de stratégies de régulation émotionnelle adaptatives, telles que la réévaluation cognitive (Garland et al., 2011). Cette évolution du répertoire de régulation émotionnelle serait liée à une plus grande flexibilité cognitive favorisée par la pleine conscience (Moore & Malinowski, 2009). La flexibilité émotionnelle ainsi développée est considérée comme un facteur central du bien-être et de la résilience psychologique (Kashdan & Rottenberg, 2010).

Enfin, l'étude en neuroimagerie menée par Zeidan et al. (2014), par le biais d'IRMf (imagerie en résonance magnétique fonctionnelle), suggère que la pleine conscience réduit l'anxiété en augmentant l'activité de régions impliquées dans la régulation émotionnelle et l'intéroception, dont notamment le cortex préfrontal ventromédian (vmPFC), le cortex cingulaire antérieur (ACC), l'insula antérieure et le cortex somatosensoriel secondaire (SII), tout en diminuant l'engagement du réseau du mode par défaut, associé à la rumination, en particulier au niveau du cortex cingulaire postérieur (PCC). De plus, l'amygdale est impliquée dans le traitement des émotions, en particulier dans des situations de stress où elle détecte rapidement des stimuli potentiellement dangereux et déclenche ainsi des réponses adaptatives et comportementales (Hölzel et al., 2007). Un programme de pleine conscience a montré qu'après huit semaines de MBSR, 26 adultes stressés mais en bonne santé présentaient une diminution significative du stress perçu, et que l'ampleur de cette baisse était corrélée à une diminution de la densité de matière grise dans l'amygdale droite basolatérale montrée par IRMf (Höltzer, 2010). L'ensemble de ces résultats soutient l'intérêt de la pleine conscience comme levier pertinent pour améliorer la régulation émotionnelle des populations observées dans un contexte clinique ou non-clinique (Keng et al., 2011).

Pleine conscience et modulation des affects positifs et négatifs

Les affects positifs et négatifs constituent deux dimensions distinctes de l'expérience émotionnelle, reflétant respectivement la présence d'émotions agréables et désagréables chez l'individu (Watson et al., 1988). Un déséquilibre caractérisé par une prédominance des affects négatifs et une diminution des affects positifs est associé à une altération du bien-être psychologique (Diehl et al., 2011). Dans ce cadre, la pleine conscience a été étudiée comme un facteur susceptible de moduler l'intensité et la fréquence des affects positifs et négatifs (Keng et al., 2011).

La pleine conscience est associée à une diminution des affects négatifs, tels que l'anxiété et la tristesse, notamment en raison d'une réduction de la réactivité émotionnelle et de la rumination

(Brown & Ryan, 2003). Cette réduction des affects négatifs contribuerait à limiter la persistance des états émotionnels désagréables dans le temps (Chambers et al., 2007). La pleine conscience favoriserait ainsi une relation plus stable et moins amplifiée aux expériences affectives négatives (Gu et al., 2015).

Parallèlement, la pratique de la pleine conscience contribue à une augmentation des affects positifs, incluant des émotions telles que la sérénité et la satisfaction (Fredrickson et al., 2008). Cette augmentation serait facilitée par une attention accrue portée aux expériences positives du quotidien (Brown & Ryan, 2003). Les affects positifs ainsi renforcés contribueraient à l'élargissement des ressources cognitives et émotionnelles de l'individu (Fredrickson, 2001).

Enfin, la pleine conscience favorise une modulation plus équilibrée des affects positifs et négatifs, reflétant une meilleure stabilité émotionnelle (Keng et al., 2011). Cette stabilité émotionnelle constituerait un mécanisme central par lequel la pleine conscience soutient le bien-être émotionnel (Kashdan & Rottenberg, 2010). L'ensemble de ces résultats souligne l'intérêt de la pleine conscience dans la modulation adaptative des affects positifs et négatifs (Hölzel et al., 2010).

En somme, les données présentées soulignent l'intérêt de la pleine conscience comme intervention psychologique associée à une amélioration de la régulation émotionnelle, à une réduction des symptômes anxieux et à une modulation des affects positifs et négatifs, via des mécanismes neurocognitifs et physiologiques. Néanmoins, leur efficacité dépendrait en partie de la capacité à maintenir une attention soutenue, susceptible d'être altérée en présence de stimuli distrayeurs. Dans cette perspective, la réalité virtuelle (RV) a récemment été proposée comme une approche prometteuse pour soutenir l'engagement attentionnel et potentialiser les effets des interventions basées sur la pleine conscience. La section suivante propose tout d'abord une définition de la RV, puis examine ses effets sur la santé mentale, son intégration dans les protocoles de pleine conscience, ainsi que l'influence de la familiarité des utilisateur·rice·s sur ces processus.

Réalité virtuelle, immersion et mécanismes psychophysiologiques

Définition et effets de la RV sur la santé mentale

La réalité virtuelle (RV) est une technologie immersive permettant à un·e utilisateur·rice d'interagir en temps réel avec un environnement numérique tridimensionnel généré par ordinateur à l'aide de dispositifs dédiés, tels que des casques de visualisation, produisant une expérience sensorielle et cognitive engageante (Bell et al., 2020). Cette technologie se distingue des supports numériques traditionnels par son haut niveau d'interactivité et par la mobilisation

simultanée de plusieurs modalités sensorielles, favorisant une implication active de l'utilisateur·rice dans l'environnement simulé (Freeman et al., 2017). L'immersion désigne l'ensemble des propriétés techniques d'un système de réalité virtuelle (fidélité visuelle, champ de vision, latence, suivi des mouvements), qui réduisent l'influence de l'environnement externe et favorisent des réponses proches de celles observées en situation réelle (Slater, 2009 ; Freeman et al., 2017). Elle constitue une condition facilitatrice du sentiment de présence, défini comme l'expérience subjective d'être situé dans l'environnement virtuel. Au-delà de la présence, la RV peut également induire un sentiment d'« embodiment », correspondant à l'impression d'habiter, de contrôler et de posséder un corps virtuel (Kilteni et al., 2012). Ce sentiment repose sur trois composantes : l'auto-localisation dans le corps virtuel, le sentiment d'« agency » (être à l'origine de ses actions) et le sentiment de propriété corporelle (percevoir le corps comme sien). Il émerge d'une intégration multisensorielle cohérente entre les informations visuelles, motrices et proprioceptives, renforçant l'engagement perceptif et comportemental dans l'environnement virtuel (Kilteni et al., 2012).

Dans le domaine de la santé mentale, la réalité virtuelle est principalement utilisée comme outil thérapeutique afin de recréer des situations cliniquement pertinentes dans un cadre contrôlé et sécurisé (Emmelkamp & Meyerbröker, 2021). La méta-analyse menée par Carl et al. (2018) a montré que l'efficacité de la thérapie d'exposition en réalité virtuelle dans le traitement de troubles anxieux est comparable à ceux obtenus par l'exposition in vivo. La RV s'est également révélée efficace dans la prise en charge du trouble de stress post-traumatique, notamment en facilitant l'activation émotionnelle nécessaire au traitement des souvenirs traumatiques (Kothgassner et al., 2019). Par ailleurs, la RV peut également contribuer à l'amélioration des symptômes dépressifs en facilitant l'accès à des activités plaisantes, un aspect souvent difficile pour les personnes atteintes d'un trouble dépressif majeur (Paul et al., 2022). Ainsi, la réalité virtuelle apparaît comme un outil thérapeutique complémentaire et potentiellement efficace dans la prise en charge de différents troubles psychiques, non seulement du fait de ses bénéfices cliniques démontrés dans l'exposition et la modulation émotionnelle, mais aussi parce qu'elle est perçue comme plus accessible, personnalisable et engageante par les clinicien·ne·s et les patient·e·s, favorisant ainsi sa validation et son intégration dans les pratiques de traitement en santé mentale (Bin et al., 2025).

Ces propriétés immersives et engageantes de la réalité virtuelle ont conduit les chercheur·euse·s à envisager son intégration dans des approches psychologiques reposant précisément sur la qualité de l'attention portée à l'expérience présente. En effet, la méditation de pleine conscience et la réalité virtuelle partagent un objectif commun : favoriser un état d'engagement attentionnel

soutenu, ancré dans l'instant, en réduisant l'influence des pensées intrusives et des distractions environnementales. Là où la pleine conscience sollicite cet ancrage par un entraînement mental, la RV peut le soutenir par un cadre sensoriel structuré et immersif. C'est précisément à cette jonction que s'inscrit le développement de la méditation en réalité virtuelle.

Ainsi, les propriétés immersives de la réalité virtuelle, déjà exploitées en santé mentale, offrent aussi un cadre propice à l'intégration des pratiques de pleine conscience. Cette approche vise à renforcer l'ancrage attentionnel et la régulation émotionnelle, comme détaillé ci-après.

Intégration de la RV dans les interventions basées sur la pleine conscience

Au-delà de ses applications thérapeutiques directes, la réalité virtuelle a été intégrée dans des interventions basées sur la pleine conscience afin de soutenir l'attention et la régulation émotionnelle (Navarro-Haro et al., 2017). Les environnements virtuels immersifs peuvent faciliter l'ancrage attentionnel en réduisant les distractions environnementales et en offrant un cadre sensoriel cohérent avec les objectifs de la pratique méditative (Seabrook et al., 2020). Bien que la méditation guidée favorise le bien-être psychologique, de nombreux pratiquant·e·s éprouvent des difficultés à maintenir une attention soutenue en raison des distractions environnementales et cognitives, ce qui peut entraver l'efficacité de la pratique (Kabat-Zinn, 2003 ; Navarro-Haro et al., 2017). Dans ce contexte, la réalité virtuelle apparaît comme une approche pertinente pour soutenir la méditation en proposant des environnements immersifs susceptibles de réduire les stimuli externes et de faciliter l'ancrage attentionnel (Seabrook et al., 2020 ; Modrego-Alarcón et al., 2021).

Plus spécifiquement en ce qui concerne la régulation émotionnelle, l'étude de Gentile et Kim (2024) a montré que les participant·e·s ayant suivi un programme de pleine conscience présentaient une réduction significative des affects négatifs après la session, sans toutefois qu'une différence significative n'apparaisse entre la condition en réalité virtuelle et la condition audio-guidée. En revanche, pour les affects positifs, une augmentation significative a été observée dans les deux conditions après la session, avec une hausse significativement plus importante chez les participant·e·s ayant bénéficié de la séance en réalité virtuelle par rapport à celles et ceux de la condition audio-guidée. Ces résultats suggèrent un bénéfice plus élevé de la méditation lorsque celle-ci est vécue de manière immersive en réalité virtuelle. Toutefois, ces résultats ne sont pas systématiquement retrouvés dans la littérature. Par exemple, l'étude pilote menée par Poetar et al. (2023) rapporte des résultats différents, mettant en évidence une diminution significative des affects négatifs à la suite de la session de méditation, sans différence

significative selon la modalité de pratique (RV vs audio-guidée). Par ailleurs, aucune amélioration significative des affects positifs n'a été observée dans l'une ou l'autre des conditions. Ainsi, ces résultats hétérogènes suggèrent que les effets de la méditation de pleine conscience, en particulier lorsqu'elle est pratiquée en réalité virtuelle, demeurent difficiles à établir de manière concluante. Plusieurs limites méthodologiques peuvent en effet être identifiées, notamment la brièveté des interventions, l'absence de groupes contrôles dans certaines études, l'hétérogénéité des échantillons, la variabilité des dispositifs de réalité virtuelle et des protocoles expérimentaux, ainsi que le manque de consensus concernant les mesures subjectives et l'insuffisance de mesures objectives (Failla et al., 2022). Dans ce contexte, la présente étude vise à enrichir la littérature existante afin de mieux comprendre les effets spécifiques de la réalité virtuelle sur la pratique de la méditation de pleine conscience.

En somme, l'utilisation de la réalité virtuelle comme support aux pratiques de pleine conscience permet de limiter les distractions environnementales et de favoriser l'ancrage attentionnel, contribuant ainsi à potentialiser les effets de la méditation sur la régulation émotionnelle. Toutefois, comme discuté dans la section suivante, l'efficacité de cette approche peut varier en fonction de facteurs individuels, notamment la familiarité avec les technologies immersives, susceptible d'influencer les bénéfices de l'intervention.

Effets de la familiarité avec la RV

D'autres facteurs, tels que la familiarité avec la réalité virtuelle (RV), constituent des variables modératrices importantes susceptibles d'influencer la tolérance et l'adaptation aux environnements immersifs. Effectivement, une exposition répétée à la RV peut contribuer à réduire certains effets secondaires potentiels, regroupés sous le terme de « cybersickness », tels que les nausées, les vertiges ou la désorientation liés à l'utilisation de cette technologie (Merhi et al., 2007). L'étude de Palmisano et Constable (2022) a montré qu'une seconde exposition de 15 minutes à une même simulation en RV suffisait à diminuer significativement la « cybersickness » lors de cette nouvelle exposition. Par ailleurs, les utilisateur·ice·s novices en réalité virtuelle présentent un sentiment de contrôle du système significativement plus faible que les personnes disposant d'une expérience préalable (Lehikko et al., 2025). Ce résultat suggère que la familiarité avec les interfaces immersives joue un rôle déterminant dans l'appropriation de l'environnement virtuel ainsi que dans la perception de l'efficacité de l'interaction (Lehikko et al., 2025). Dans ce contexte, les individus disposant d'une expérience préalable en RV pourraient bénéficier plus pleinement des effets positifs de la méditation en réalité virtuelle que ceux n'ayant jamais été

exposés à ce type de technologie. Toutefois, peu d'études portant sur la méditation en RV se sont jusqu'à présent intéressées au rôle de la familiarité avec la RV. La présente étude vise donc à explorer l'influence de cette variable sur l'expérience et les effets de la méditation en réalité virtuelle.

En somme, l'utilisation de la RV dans les interventions psychologiques offre un cadre immersif et contrôlé, susceptible de faciliter l'ancrage attentionnel et de potentialiser les effets de la pleine conscience. Cependant, pour évaluer de manière objective l'impact de ces interventions, il est nécessaire de recourir à des indicateurs physiologiques robustes, capables de refléter les modifications dans la régulation émotionnelle et physiologique. Parmi ces marqueurs, la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) constitue un indicateur de l'équilibre du système nerveux autonome, et plus spécifiquement de la capacité à moduler les réponses physiologiques face aux émotions. La section suivante ainsi présente les fondements théoriques et empiriques de la HRV, ses liens avec l'anxiété, ainsi que son lien avec la méditation.

Variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) et anxiété

Définition, mesures et indices de la HRV

La variabilité de la fréquence cardiaque (heart rate variability, HRV) correspond aux fluctuations temporelles (en ms) entre deux battements cardiaques consécutifs, et constitue un marqueur du contrôle neurocardiaque exercé par le système nerveux autonome (SNA) sur l'activité du cœur (Shaffer & Ginsberg, 2017). La HRV reflète la capacité adaptative du système cardiovasculaire à répondre de manière flexible aux contraintes physiologiques, environnementales et psychologiques, traduisant ainsi l'intégration fonctionnelle entre les systèmes nerveux central et périphérique (Thayer et al., 2009). La mesure de la régulation de la fréquence cardiaque repose sur l'interaction dynamique entre les deux composantes du SNA, à savoir le système nerveux sympathique et parasympathique, qui modulent l'activité du nœud sino-auriculaire selon des temporalités distinctes (Pham et al., 2021). L'activation sympathique, prédominante lors des états de stress, d'effort ou de vigilance accrue, est associée à une accélération de la fréquence cardiaque, traduisant une mobilisation des ressources physiologiques. À l'inverse, l'activité parasympathique, principalement via le nerf vague, exerce un effet inhibiteur rapide sur le cœur et contribue de façon importante à l'augmentation de certaines composantes de la HRV, notamment en conditions de repos ou de récupération (Shaffer & Ginsberg, 2017).

La mesure de la HRV peut être analysée à l'aide d'indicateurs temporels ou fréquentiels, obtenus soit par un électrocardiogramme (ECG), soit par un cardiofréquencemètre (Nau, 2013). La présente étude a analysé les indices temporels et non fréquentiels de la HRV, car ces mesures présentent une meilleure robustesse statistique, une variabilité plus faible, ainsi qu'une estimation plus directe (Kuss et al., 2008). De plus, les indices temporels sont moins influencés par d'autres variables, comme la respiration, laquelle affecte davantage les indices fréquentiels (Laborde et al., 2017). Ainsi, plus précisément concernant les différents indices temporels, le *SDNN* correspond à l'écart-type (en ms) des intervalles NN, calculé après exclusion des battements non sinusaux et des artefacts (Shaffer & Ginsberg, 2017). Il constitue un indicateur de la variabilité globale de la fréquence cardiaque, intégrant l'ensemble des fluctuations présentes sur la durée de l'enregistrement. Sur des enregistrements courts, le *SDNN* reflète principalement les influences parasympathiques, tandis que sur des enregistrements prolongés, il intègre des composantes à plus long terme associées à la régulation autonome, impliquant à la fois les systèmes parasympathique et sympathique (Shaffer & Ginsberg, 2017). Sa fiabilité et sa pertinence clinique augmentent avec la durée d'enregistrement, en particulier lors de mesures sur 24 heures, où il est considéré comme un indicateur de référence pour la stratification du risque cardiovasculaire (Shaffer & Ginsberg, 2017). Ensuite, le *RMSSD* mesure (en ms) la racine carrée de la moyenne des différences successives entre deux intervalles RR (temps entre deux battements) consécutifs (Ciccone et al., 2017). Il reflète principalement l'activité du système nerveux parasympathique et est un marqueur fiable du tonus vagal cardiaque dans des conditions de respiration normale (Thomas et al., 2019). Enfin, le *pNN50* correspond à la proportion d'intervalles NN consécutifs présentant une différence supérieure à 50 ms et constitue un indicateur associé à l'activité du système nerveux parasympathique (Shaffer & Ginsberg, 2017). Néanmoins, tant en contexte de recherche qu'en pratique clinique, le *RMSSD* est généralement préféré au *pNN50*, car il permet une estimation plus précise de l'arythmie sinusale respiratoire (Otzenberger et al., 1998). De plus, pour des enregistrements de la HRV de courte durée (typiquement 5 minutes), l'analyse du *RMSSD* présente une bonne fiabilité (Sundas et al., 2025). Par conséquent, dans la présente étude, l'indice *RMSSD* sera utilisé comme mesure de référence pour estimer la HRV.

Relation entre HRV, anxiété et méditation

Au-delà de ses fondements physiologiques, la HRV présente un intérêt particulier pour la compréhension des processus de régulation émotionnelle. En effet, les indices temporels

reflétant l'activité parasympathique, notamment le RMSSD, sont utilisés pour examiner les liens entre régulation autonome, stress et anxiété (Appelhans & Luecken, 2006). Plus précisément, la régulation émotionnelle peut être comprise à travers le niveau d'activation physiologique (« arousal ») qui accompagne les états émotionnels et dépend principalement de l'activité du système nerveux autonome, composé des branches sympathique (excitatrice) et parasympathique (inhibitrice) (Servant et al., 2008). Selon le modèle d'intégration neuroviscérale de Thayer et Lane (2000), la régulation émotionnelle repose sur un réseau fonctionnel intégré reliant les régions préfrontales médianes, les structures limbiques et les centres autonomes du tronc cérébral. Au sein de ce réseau, les régions préfrontales participent à la modulation inhibitrice des réponses limbiques face au stress et influencent l'activité du système nerveux autonome, notamment par l'intermédiaire des voies parasympathiques. Dans cette perspective, la HRV peut être envisagée comme un indicateur du niveau d'intégration entre les processus centraux de régulation et les réponses physiologiques autonomes.

Une HRV élevée est associée à une meilleure dynamique ou adaptabilité physiologique et émotionnelle, permettant une régulation efficace des réponses au stress (Thayer et al., 2011). À l'inverse, une diminution de la HRV est fréquemment observée chez les personnes présentant un trouble anxieux (attaque de panique, trouble anxieux généralisé et phobie sociale), suggérant un déficit du contrôle vagal dans ces populations (Chalmers et al., 2014). Cette association inverse entre HRV et anxiété suggère qu'une HRV faible constitue un marqueur physiologique de vulnérabilité au stress (Kim et al., 2018). Plus précisément, concernant l'indice temporel RMSSD, l'étude de Kim et al. (2016) a montré que les personnes souffrant d'un trouble anxieux généralisé présentent un RMSSD significativement plus bas que le groupe contrôle (sans troubles diagnostiqués), ce qui suggère que l'intégrité neurocardiaque autonome semble altérée chez les personnes anxieuses. En effet, ces deux variables peuvent être expliquées par une corrélation négative : plus le RMSSD est faible, plus l'anxiété d'état, évaluée à l'aide du questionnaire STAI, est élevée (Xie et al., 2025).

La variabilité de la fréquence cardiaque peut être modulée par un exercice de méditation. Bortolla et al. (2021) ont montré qu'un exercice bref de mindfulness s'accompagne d'une augmentation du RMSSD par rapport à une condition de repos. Plus précisément, le RMSSD est significativement plus élevé pendant la phase de mindfulness que durant la baseline, suggérant un renforcement du tonus parasympathique et une meilleure flexibilité autonome pendant la pratique. Après l'exercice, le RMSSD reste significativement au-dessus de celui de la baseline, sans différence significative avec la phase mindfulness, ce qui suggère un maintien à court terme

de l'activation vagale. Ainsi, la méditation de pleine conscience apparaît susceptible de favoriser les capacités de régulation autonome, notamment à travers une activation vagale accrue. De plus, l'étude de Wolfe et al. (2024) a montré que, lors d'un atelier d'une journée de pleine conscience chez des cliniciennes, la RMSSD augmentait significativement pendant les exercices, tandis que les scores d'anxiété d'état diminuaient fortement ; les participantes présentant la plus grande baisse d'anxiété montraient également la plus forte amélioration de la HRV pendant la méditation. Ces résultats suggèrent ainsi une corrélation négative entre une HRV élevée durant la méditation et une anxiété plus faible rapportée après celle-ci.

Ces données soutiennent l'hypothèse selon laquelle une intervention basée sur la méditation pourrait moduler la HRV et, par conséquent, influencer les niveaux d'anxiété perçus. Cependant, comme discuté dans les chapitres précédents, l'efficacité de la méditation de pleine conscience en RV pourrait être influencée par le degré de familiarité avec l'environnement technologique utilisé. Il apparaît donc pertinent, dans la présente étude, d'examiner comment la familiarité avec la réalité virtuelle modulerait le lien entre la RMSSD et l'anxiété perçue.

Ainsi, les résultats précédents mettent en évidence le rôle clé de la variabilité de la fréquence cardiaque dans les mécanismes par lesquels la pleine conscience agit sur la régulation émotionnelle et l'anxiété. Toutefois, ses effets dépassent la sphère émotionnelle et physiologique, en influençant aussi les fonctions cognitives, notamment la mémoire de travail et la performance. Ces capacités étant potentiellement modulées par des facteurs motivationnels comme les récompenses, il est pertinent d'examiner comment la pleine conscience, via audio ou réalité virtuelle, interagit avec ces mécanismes pour optimiser la performance cognitive. La section suivante examine donc les liens entre mémoire de travail, système de récompense et méditation, afin d'éclairer les mécanismes sous-jacents à ces interventions.

Performance à une tâche de récompense et méditation

Mémoire de travail et paradigme de détection du changement

La mémoire de travail se définit comme un ensemble de mécanismes cognitifs assurant le maintien temporaire et la manipulation active des représentations mentales nécessaires aux processus de pensée, de raisonnement et à la régulation de l'action (Oberauer et al., 2018). Il s'agit d'un dispositif cognitif permettant de maintenir brièvement un nombre restreint de contenus informationnels à un niveau d'accessibilité optimal, condition nécessaire au déroulement des échanges communicatifs et au traitement des problèmes (Cowan et al., 2016). Elle se distingue de la simple mémoire à court terme car elle implique non seulement le stockage temporaire, mais

aussi le traitement et la manipulation de l'information (Baddeley, 2012). Selon le modèle de Baddeley et Hiche, la mémoire de travail s'organise autour de trois composantes principales : la boucle phonologique, chargée du maintien temporaire des informations verbales et sonores, le calepin visuospatial, responsable du stockage des informations visuelles et spatiales, et l'administrateur central, qui assure le contrôle attentionnel, la coordination des traitements cognitifs et la sélection des informations pertinentes (Baddeley, 2003). Plus récemment, une dernière composante a été identifiée, le buffer épisodique qui sert de zone de liaison, en intégrant les informations verbales, visuelles et celles issues de la mémoire à long terme afin de former des épisodes cohérents (Baddeley, 2012). La capacité de la mémoire de travail est limitée à intégrer simultanément sept (plus ou moins deux) éléments à la fois (Miller, 1956). Cependant, elle dépend aussi de la complexité et de la compressibilité des éléments à retenir : ainsi, Mathy et Feldman (2011) ont conclu que sa vraie capacité est plus susceptible d'être de quatre plutôt que de sept éléments. De plus, Luck et Vogel (1997) ont montré que la capacité de la mémoire de travail visuelle peut être quantifiée via un paradigme de détection de changement, où la probabilité de détecter une modification diminue avec l'augmentation du nombre d'objets à mémoriser, reflétant directement le nombre d'objets maintenus en mémoire à court terme. Le paradigme de détection de changement permet entre autres d'évaluer la performance et la vitesse de traitement d'une tâche (Gilchrist & Cowan, 2014). La performance dans les tâches de mémoire de travail ne dépend pas uniquement de la capacité de stockage et de manipulation de l'information, car elle est également modulée par des facteurs motivationnels tels que la présence d'incitations externes, comme des récompenses par exemple (Engelmann & Pessoa, 2007).

Cette sensibilité de la mémoire de travail aux incitations externes constitue précisément le fondement conceptuel de la Fribourg Reward Task (FRT) utilisée dans la présente étude. En effet, la FRT combine un paradigme de détection du changement, sollicitant directement la mémoire de travail visuospatiale, avec des conditions de récompense variables (sociale, monétaire ou absente), permettant ainsi d'examiner conjointement les capacités mnésiques et la réactivité motivationnelle. Cette architecture expérimentale repose sur l'hypothèse que la performance à une tâche cognitive n'est pas un processus isolé, mais qu'elle émerge de l'interaction entre les ressources cognitives disponibles et l'état motivationnel de l'individu. Dans ce cadre, une intervention susceptible de modifier cet état, comme une séance de méditation de pleine conscience, pourrait également influencer la manière dont les signaux de récompense modulent la performance. Comprendre les mécanismes neurobiologiques sous-tendant le système de récompense est donc nécessaire pour saisir en quoi la méditation pourrait en moduler le fonctionnement.

Ainsi, la mémoire de travail, évaluée notamment par le paradigme de détection du changement, se révèle sensible aux incitations externes, telles que les récompenses, qui modulent l'engagement et la performance cognitive. Ces interactions entre motivation et cognition reposent sur des mécanismes neurobiologiques impliquant le système de récompense, dont l'étude permet d'éclairer les variations interindividuelles de performance et l'impact potentiel d'interventions comme la méditation de pleine conscience.

Système de récompense, performance et méditation

Le système de récompense regroupe des mécanismes neuronaux impliqués dans le renforcement : une récompense est un stimulus attractif qui augmente la probabilité de répétition d'un comportement (Lewis et al., 2021). D'un point de vue neurofonctionnel, le système de récompense repose sur un ensemble de structures sous-corticales et corticales organisées principalement autour des voies dopaminergiques mésolimbique et mésocorticale (Arias-Carrión et al., 2010). Ces voies relient notamment l'aire tegmentale ventrale au noyau accumbens, au cortex préfrontal ventromédian et au cortex cingulaire antérieur, constituant un réseau central dans le traitement motivationnel et l'apprentissage orienté vers les récompenses (Haber & Knutson, 2009). Les neurones dopaminergiques de l'aire tegmentale ventrale projettent majoritairement vers le noyau accumbens et le striatum ventral, qui jouent un rôle clé dans l'anticipation motivationnelle et dans l'apprentissage basé sur les conséquences des actions (Schultz, 1997). Leur activité phasique code une erreur de prédiction de la récompense, correspondant à la différence entre la valeur attendue et la valeur effectivement obtenue, permettant ainsi l'ajustement adaptatif du comportement (Schultz et al., 1997).

Les régions corticales, en particulier le cortex orbitofrontal et le cortex préfrontal ventromédian, contribuent à l'évaluation et à l'intégration de la valeur subjective des récompenses dans les processus de prise de décision. Tandis que le cortex orbitofrontal est impliqué dans la mise à jour flexible de la valeur des résultats, le cortex préfrontal ventromédian intègre ces informations afin de guider les choix comportementaux en fonction des objectifs et du contexte (Haber & Knutson, 2009).

L'anticipation d'une récompense s'accompagne d'une activation accrue du striatum ventral, ce qui favorise la mobilisation des ressources cognitives nécessaires à la performance dans une tâche donnée (Knutson et al., 2001). La dopamine module l'efficacité des fonctions exécutives, notamment la mémoire de travail et le contrôle cognitif, selon une relation non linéaire dans laquelle des niveaux optimaux d'activation dopaminergique sont associés à de meilleures

performances (Cools & D'Esposito, 2011). Par ailleurs, les signaux de récompense influencent la vitesse et la précision des réponses comportementales en augmentant l'engagement attentionnel envers la tâche (Pessoa & Engelmann, 2010).

Les différences interindividuelles dans la sensibilité au système de récompense contribuent également à expliquer les variations de performance motivationnelle observées entre les individus. Ces différences se manifestent notamment par une réactivité variable aux signaux de récompense et par des niveaux distincts d'activation du striatum ventral lors de l'anticipation et de l'obtention des récompenses (Kim et al., 2015). Le Behavioral Activation System (BAS) correspond à un système motivationnel impliqué dans la détection et la poursuite des récompenses, reposant principalement sur les circuits dopaminergiques mésolimbiques. Un niveau élevé de sensibilité à la récompense, associé à des scores BAS plus importants, est généralement lié à une activation striatale plus marquée et à une mobilisation comportementale accrue, influençant la motivation (Depue & Collins, 1999 ; Kim et al., 2015).

Par ailleurs, les patient·e·s présentant une dépression montrent une hypoactivation du striatum ventral lors du traitement d'une récompense, contrairement aux personnes nondépressives (Savitz, 2013). Ces résultats sont compatibles avec la théorie de l'incitation à la saillance proposée par Berridge et Robinson (1998), selon laquelle une altération dopaminergique affecterait davantage la composante motivationnelle de la récompense (« wanting ») que l'expérience hédonique elle-même (« liking »), ce qui pourrait contribuer à la diminution de l'engagement dans des activités gratifiantes chez les personnes dépressives.

D'autres dimensions individuelles, telles que les traits de personnalité, modulent également la sensibilité aux récompenses. En particulier, l'extraversion est associée à une réactivité accrue aux signaux de récompense et à des réponses motivationnelles plus prononcées, pouvant faciliter l'engagement et la performance dans des tâches orientées vers l'obtention de récompenses (Smillie et al., 2019). À l'inverse, le stress, particulièrement lorsqu'il est élevé ou prolongé, peut diminuer la sensibilité et la réactivité aux signaux de récompense, ce qui entraîne une altération de la performance motivationnelle (Bogdan & Pizzagalli, 2006).

Ces facteurs individuels peuvent influencer la performance dans des paradigmes expérimentaux évaluant le traitement de la récompense, tels que la Fribourg Reward Task (FRT). Cette tâche permet d'examiner comment les caractéristiques personnelles et l'état psychophysiologique des individus modulent les réponses comportementales et émotionnelles face aux récompenses (Martin-Soelch et al., 2009). L'étude de Tandon et al. (2022) réalisée auprès d'étudiant·e·s suisses montre une association significativement positive entre les récompenses monétaires et

l'évaluation de l'humeur chez des participant·e·s sans symptômes douloureux. Cet effet est toutefois atténué chez celles et ceux qui en présentent, ce qui suggère que l'impact des récompenses dépend également de l'état initial des individus. De plus, les personnes ayant subi un traumatisme et présentant des symptômes de PTSD (post traumatic stress disorders) montrent une tendance à une performance (accuracy) significativement inférieure à la FRT par rapport au groupe contrôle (Kalebasi et al., 2015). Ainsi, si le traitement de la récompense varie en fonction de l'état psychophysiologique, une intervention susceptible de le modifier pourrait également influencer la performance à la FRT.

Dans cette perspective, la méditation pourrait constituer un moyen de moduler les réponses motivationnelles et émotionnelles aux récompenses. En effet, des méta-analyses et des revues systématiques montrent des effets positifs de la pleine conscience sur l'attention, les fonctions exécutives et la mémoire de travail (Chiesa et al., 2011 ; Sumantry & Stewart, 2021). Ces effets peuvent s'expliquer par une théorie de l'entraînement attentionnel et de l'autorégulation : selon le modèle de Tang et al. (2015), la pratique de la pleine conscience renforcerait tout d'abord le *contrôle attentionnel* en maintenant et en réorientant l'attention et la détection des distractions. Puis, elle favoriserait une meilleure *régulation émotionnelle* : moins de perturbations émotionnelles face à des stimuli désagréables, une réactivité physiologique au stress plus faible et un retour au calme plus rapide après un événement stressant. Enfin, elle favoriserait la *conscience de soi*, en aidant à prendre du recul par rapport à une image figée de soi-même et à observer plus lucidement ses pensées, ses émotions et ses sensations dans l'instant présent. Ainsi, en réduisant le coût cognitif des distractions et des états émotionnels perturbateurs, cette amélioration de l'autorégulation libérerait des ressources pour les processus exécutifs (inhibition, flexibilité, mémoire de travail), conduisant à de meilleures performances cognitives (Tang et al., 2015).

La méditation audio-guidée augmente significativement les performances cognitives. Effectivement, l'étude de Basso et al. (2018) a montré qu'après huit semaines de méditation audio-guidée, les performances de certaines tâches cognitives augmentaient significativement par rapport à un groupe contrôle écoutant un podcast d'informations scientifiques, ce qui suggère un effet spécifique de la méditation sur les fonctions cognitives. Ensuite, concernant le format de méditation en réalité virtuelle, les résultats de l'étude de Guo et al. (2025) montrent que les participant·e·s ayant suivi un entraînement bref de méditation de pleine conscience en RV présentent une amélioration significative de leurs performances à une tâche de précision, ainsi qu'un engagement cognitif accru, reflété par une augmentation de l'activité cérébrale associée à

l'attention et à l'alerte. En effet, les environnements immersifs, en plaçant les utilisateur·ice·s « à l'intérieur » de l'expérience, favorisent une sensation accrue de présence susceptible de renforcer la motivation et l'engagement émotionnel (Datta et al., 2024). Cependant, peu d'études se sont intéressées aux différences entre les modalités de méditation (en réalité virtuelle vs audio-guidée) quant à leurs effets sur la performance liée à une tâche de récompense. À ce jour, seule l'étude de Kaplan-Rakowski et al. (2021) a directement comparé ces deux modalités. À l'aide d'un essai randomisé mené auprès d'étudiant·e·s, les chercheur·euse·s y ont montré qu'une séance de méditation en réalité virtuelle réalisée avant un examen conduisait à des résultats significativement supérieurs à ceux obtenus après une méditation vidéo de contenu équivalent. Néanmoins, une limite majeure de cette étude réside dans la nature de la tâche utilisée pour évaluer la performance : celle-ci ne reposait pas sur une tâche standardisée et validée, ce qui restreint la comparabilité des résultats et la portée des conclusions. De plus, l'anxiété n'a été évaluée qu'à l'aide d'un questionnaire subjectif non standardisé et sans recours à des mesures objectives complémentaires. Dès lors, il apparaît nécessaire d'évaluer l'impact des différentes modalités de méditation sur la performance au moyen de tâches standardisées, validées et méthodologiquement robustes, telles que la FRT.

Donc, les mécanismes neuronaux du système de récompense, ainsi que les facteurs individuels et contextuels qui modulent la performance à une tâche, soulignent l'importance de la nature de la récompense dans l'engagement et les résultats comportementaux. Si la méditation apparaît comme une intervention prometteuse pour influencer ces processus, la question de la forme que prend la récompense elle-même (monétaire ou non monétaire,) semble tout aussi déterminante. En effet, la performance à une tâche de récompense ne dépendrait pas seulement de la sensibilité individuelle ou de l'état psychophysiologique, mais aussi potentiellement des caractéristiques intrinsèques de la récompense proposée.

Modulation de performance selon le type de récompense

La performance à une tâche de récompense peut varier en fonction de la nature de la récompense : monétaire ou non monétaire. Une récompense monétaire correspond à une somme d'argent accordé suite à une bonne performance (Bonner & Sprinkle, 2002). Schwab et Somerville (2022) ont mené une expérience dans le but d'examiner l'effet des incitations monétaires sur la performance à une tâche cognitive, montrant que le groupe recevant une récompense financière pour chaque bonne réponse, comparé au groupe sans récompense, présente une performance significativement plus élevée, suggérant que les incitations

monétaires augmenteraient l'intensité de l'effort et amélioreraient la performance. D'autre part, les récompenses non monétaires désignent des formes de reconnaissance ou d'avantages qui ne prennent pas la forme d'une rémunération directe par de l'argent, mais qui reconnaissent les contributions des performances, comme un feedback positif donné, une reconnaissance publique, un accès à des formations, un meilleur équilibre entre vie professionnelle et personnelle, qui servent ainsi à satisfaire les besoins socio-émotionnels (Ercegović, 2025). La méta-analyse menée par Wang et al. (2024) montre que la récompense améliore la mémoire de travail, avec un avantage global des récompenses non monétaires sur les monétaires. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que les récompenses monétaires suscitent davantage d'émotions négatives, telles que la peur ou l'anxiété (Castro et al., 2021), tandis que les récompenses non monétaires, comme recevoir un feedback social positif, sont associées à une augmentation des émotions positives (Izuma et al., 2008). Une autre justification reposerait sur la motivation intrinsèque, définie comme l'engagement dans une activité pour le plaisir et pour l'intérêt qu'elle procure en elle-même (Oudeyer & Kaplan, 2007). Toutefois, toutes les formes de récompenses n'ont pas le même effet sur cette motivation (Malek et al., 2020). Les récompenses monétaires sont fréquemment perçues comme des moyens de contrôle externe du comportement, qui tendent à réduire le sentiment d'autonomie de l'individu, ce qui affaiblit la motivation intrinsèque (Murayama et al., 2010). À l'inverse, des récompenses non monétaires de type reconnaissances sociales, telles que félicitations, visibilité ou soutien, sont plus souvent interprétées comme des feedbacks informatifs que comme un contrôle direct du comportement (Malek et al., 2020). Parce qu'elles signalent la compétence et l'appréciation du travail tout en préservant l'autonomie, ces formes de reconnaissance renforcent les sentiments de compétence et de relation aux autres, ce qui soutient la motivation intrinsèque (Fischer et al., 2019). Ainsi, les données suggèrent qu'une récompense non-monétaire (sociale) serait susceptible d'induire une performance supérieure à celle générée par une récompense monétaire (Wang et al., 2024).

En somme, la présente étude vise à déterminer si la méditation de pleine conscience en réalité virtuelle (RV) produit des effets plus bénéfiques que la méditation audio-guidée sur les affects positifs et négatifs, l'anxiété d'état, la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) et la performance à une tâche de récompense. La littérature existante présente des résultats divergents concernant les effets émotionnels de ces modalités. Certaines études rapportent une augmentation plus marquée des affects positifs après une méditation en RV comparativement à une méditation audio-guidée (Gentile & Kim, 2024), tandis que d'autres ne mettent en évidence aucun changement significatif des affects positifs, indépendamment de la modalité utilisée (Poetar et al., 2023). En revanche, une diminution des affects négatifs est observée de manière relativement constante dans

les deux conditions (Gentile & Kim, 2024 ; Poetar et al., 2023). Ces divergences pourraient s'expliquer par des variations méthodologiques, notamment la taille réduite des échantillons, ce qui rend incertaine la supériorité de la méditation en RV pour améliorer conjointement les affects positifs et réduire les affects négatifs. Par ailleurs, la HRV tend à augmenter à la suite d'exercices de pleine conscience, reflétant une meilleure activation du système nerveux parasympathique (Bortolla et al., 2021). Toutefois, bien que l'efficacité de la méditation en RV puisse dépendre du degré de familiarité avec cette technologie (Merhi et al., 2007), peu d'études ont examiné le rôle de cette familiarité sur la HRV et la perception subjective de l'anxiété. Enfin, si certaines données suggèrent que la pleine conscience en RV peut améliorer la performance à une tâche (Guo et al., 2025), les comparaisons directes entre la méditation en RV et la méditation audio-guidée demeurent rares, en particulier lorsqu'elles reposent sur des mesures subjectives et objectives standardisées. Ainsi, la présente étude se distingue en proposant une comparaison systématique de ces deux modalités de méditation, en intégrant des mesures émotionnelles, physiologiques et comportementales, ainsi que le rôle potentiel de la familiarité avec la RV.

Questions de recherches et hypothèses

Compte tenu des éléments, limites et divergences exposés dans le contexte théorique, la présente étude vise à évaluer les effets d'une méditation immersive en réalité virtuelle sur la pleine conscience, les affects et la sensibilité à la récompense, comparativement à une méditation audioguidée.

Questions de recherches : Dans quelle mesure la méditation en réalité virtuelle (RV), comparée à la méditation audioguidée, améliore-t-elle les affects positifs/négatifs, l'anxiété d'état et la performance à la tâche de récompense ? La familiarité avec la RV module-t-elle la relation entre la variabilité de la fréquence cardiaque pendant la méditation et l'anxiété après la méditation ?

Hypothèses générales :

H1 (effet principal) : La méditation en réalité virtuelle entraîne une amélioration plus importante des affects positifs et une diminution plus marquée des affects négatifs que la méditation audioguidée.

H2a (modération) : La familiarité avec la RV modère la relation entre la variabilité de la fréquence cardiaque mesurée durant la méditation et le niveau d'anxiété évalué après la méditation, de telle sorte que chez les participant·e·s familier·ère·s avec la RV, une variabilité de la fréquence cardiaque plus élevée est associée à une anxiété plus faible après la méditation.

H2b (exploratoire) : La méditation entraîne une diminution significative de l'anxiété d'état. De plus, la méditation dans la condition en réalité virtuelle entraîne une amélioration plus importante de l'anxiété d'état que dans la condition audioguidée.

H3 (effet principal) : La méditation en réalité virtuelle entraîne une performance à la tâche de récompense FRT plus importante que suite à la méditation audioguidée. Plus précisément, les performances sont significativement plus élevées lors de la phase « Feedback » (récompense non-monétaire) que lors de la phase « Money » (récompense monétaire) et « NoFeedback » (sans feedback). De plus, elles sont significativement plus élevées dans la phase « Money » que lors de la phase « NoFeedback ».

Opérationnalisation, mesures utilisées :

Dans un premier temps, afin de répondre à l'hypothèse 1, le questionnaire en version courte du Positive and Negative Affect Schedule (PANAS-SF ; Thompson, 2007) sera utilisé pour évaluer le score des affects positifs, ainsi que le score des affects négatifs. Pour chaque type d'affect (positif ou négatif), le score total varie entre 10 et 50.

Puis, afin de répondre à l'hypothèse 2, le questionnaire State-Trait Anxiety Inventory (STAI ; Spielberger et al., 2015), dans sa forme Y-A (anxiété d'état) sera utilisé pour évaluer le score d'anxiété d'état. Son score total varie entre 20 et 80. De plus, la variabilité de la fréquence cardiaque sera enregistrée à l'aide de capteurs d'électrocardiogramme EcgMove 4 (Movisens, 2020). Plus spécifiquement, le score moyen sera calculé sur la base de l'indice temporel « RMSSD ».

Enfin, afin de répondre à l'hypothèse 3, la performance est estimée à partir du taux de réponses correctes, exprimée sur un score allant de 1 (100 % de réponses correctes) à 0 (0 % de réponses correctes), évaluée à deux reprises : avant et après la méditation.

Hypothèses opérationnelles :

H1 : Une ANOVA mixte (Temps × Condition) montrera, dans la population générale adulte, une augmentation des scores moyens d'affect positif, ainsi qu'une diminution des scores moyens d'affect négatif (PANAS-SF ; Thompson et al., 2007) entre avant et après la session de méditation qui sera significativement plus importante dans la condition RV que dans la condition audioguidée.

H2a : Une analyse de modération montrera que la familiarité avec la RV, évaluée au moyen d'une question dichotomique (oui vs non) intégrée au questionnaire d'informations sociodémographiques rempli en début d'expérience, modère la relation entre la RMSSD mesurée durant la méditation à l'aide du capteur EcgMove 4 (Movisens, 2020) et le niveau d'anxiété d'état évalué après la méditation à l'aide du STAI-Y-A (Spielberger, 2015), de telle sorte qu'une RMSSD plus élevée sera associée à une anxiété plus faible chez les participant·e·s familier·ère·s avec la RV.

H2b : Une ANOVA mixte (Temps x Condition) montrera, dans la population générale adulte, une diminution des scores moyens d'anxiété d'état (STAI-Y-A ; Spielberger, 2015) entre avant et après la session de méditation qui sera significativement plus importante dans la condition RV que dans la condition audioguidée.

H3 : Une ANOVA mixte (Temps x Condition x Phases) montrera que chez des adultes de la population générale, la performance à la tâche FRT augmente significativement après la séance de méditation, avec une amélioration plus marquée dans le groupe de réalité virtuelle que dans le groupe contrôle. Les performances correspondront aux moyennes des scores obtenus par les participant·e·s à la tâche FRT, calculées séparément pour les mesures pré et post-méditation.

Plus précisément, la performance à la tâche de récompense (FRT) varie en fonction des différentes phases de la tâche et leur évolution entre avant et après la méditation, de telle sorte que les performances sont significativement plus élevées lors de la phase « Feedback » que lors de la phase « Money » et « NoFeedback ». De plus, elles sont significativement plus élevées dans la phase « Money » que lors de la phase « NoFeedback ».

Méthode

Participant·e·s

L'échantillon final analysé était composé de 94 participant·e·s, réparti·e·s en deux groupes expérimentaux : un groupe en Réalité Virtuelle (RV) ($n = 45$) et un groupe en Audioguide ($n = 49$). Initialement, 110 participant·e·s avaient pris part à l'étude. Toutefois, plusieurs exclusions ont été nécessaires lors du traitement des données, en particulier des données objectives. Certaines sessions ont été retirées en raison de problèmes techniques (absence ou qualité insuffisante des signaux EEG, absence de mesures de fréquence cardiaque, d'EDA ou de puissance spectrale), d'un nombre insuffisant de marqueurs, ou encore d'incohérences

temporelles entre les marqueurs et le démarrage des enregistrements physiologiques. Par ailleurs, un·e participant·e a été exclu·e en raison d'une valeur aberrante concernant l'âge, et certaines données n'étaient pas exploitables du fait de formats de fichiers incorrects ou de mesures manquantes. L'ensemble de ces critères a conduit à l'exclusion de 16 participant·e·s, aboutissant à l'échantillon final retenu pour les analyses. Les caractéristiques sociodémographiques de l'échantillon total ainsi que de chaque groupe sont présentées dans le Tableau 1.

Lors de la phase de recrutement des participant·e·s, des flyers (Annexe 1) ont été affichés dans les couloirs de l'Université de Fribourg. L'affiche présentait les objectifs de l'étude, les critères d'inclusion, la durée prévue, ainsi que la récompense accordée. Afin d'atteindre un plus grand nombre de participant·e·s, nous avons envoyé des messages sur les groupes WhatsApp des étudiant·e·s en psychologie de l'Université de Fribourg, avec le flyer en pièce jointe. De plus, la recherche s'est poursuivie par le bouche-à-oreille au sein de notre famille, de nos ami·e·s et de nos collègues. Les personnes intéressées à participer à notre étude pouvaient nous contacter par e-mail. Nous leur répondions ensuite en leur proposant différents créneaux horaires. Nous leur fournissions également une feuille d'instructions pour se rendre au laboratoire (Annexe 2), ainsi qu'un document comportant quelques informations importantes concernant les objectifs et la procédure de l'étude (Annexe 3), afin qu'elles puissent confirmer leur participation.

La participation à notre étude présentait deux critères d'inclusion et d'exclusion, notamment être âgé de 18 à 65 ans et ne présenter aucune contre-indication à l'utilisation de dispositifs de réalité virtuelle, telle que la présence de troubles neurologiques connus, d'épilepsie ou de maladies cardiaques graves.

Tableau 1

Caractéristiques démographiques de l'échantillon selon le groupe

Variables	RV (n = 45)	Audioguide (n = 49) Total (n = 94)	
Genre, n (%)			
Femmes	30 (66.7 %)	40 (81.6 %)	70 (74.5 %)
Hommes	15 (33.3 %)	8 (16.3 %)	23 (24.5 %)
Autre / Non précisé	0 (0 %)	1 (2.0 %)	1 (1.1 %).
Âge (années)	M = 24.51, ET = 4.57	M = 24.35, ET = 4.96	M = 24.43, ET = 4.76

Familiarité avec la

RV (Oui), <i>n</i> (%)	25 (55.6 %)	28 (57.1 %)	53 (56.4 %)
-------------------------------	-------------	-------------	-------------

Familiarité avec la médiation (Oui), *n* (%)

33 (73.3 %)	35 (71.4 %)	68 (72.3 %)
-------------	-------------	-------------

IMC

<i>M</i> = 22.60, <i>ET</i> = 3.10	<i>M</i> = 22.27, <i>ET</i> = 2.74	<i>M</i> = 22.43, <i>ET</i> = 2.91
------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

Note. RV = Réalité virtuelle ; *n* = nombre ; *M* = Moyenne ; *ET* = écart-type ; IMC = indice de masse corporelle en kg/m²

Matériel et procédure

Aspects éthiques

Dans le courriel de confirmation envoyé aux participant·e·s, ainsi que dans le formulaire de consentement (Annexe 4) qu'ils·elles devaient signer à leur arrivée, plusieurs éléments relatifs aux considérations éthiques de la recherche étaient présentés. Ces informations concernaient notamment les risques potentiels liés à l'utilisation de la réalité virtuelle, les garanties de confidentialité entourant le traitement des données, ainsi que la validation de l'étude par le comité d'éthique compétent. Il y était précisé que, même si la réalité virtuelle est habituellement bien tolérée, certaines personnes peuvent éprouver un léger inconfort visuel, une sensation de fatigue ou une désorientation passagère. Les participant·e·s étaient averti·e·s qu'ils·elles pouvaient interrompre la séance à tout moment s'ils·elles ressentaient le moindre malaise, sans que cela n'entraîne aucune conséquence. Les modalités de confidentialité étaient également détaillées : l'ensemble des données recueillies étaient traitées de manière anonyme et strictement confidentielle, exclusivement à des fins d'analyse scientifique. Les informations personnelles étaient stockées dans un espace sécurisé, accessible uniquement aux chercheur·euse·s responsables du projet. Enfin, il était rappelé que la participation à l'étude reposait entièrement sur le volontariat. Les participant·e·s disposaient de la liberté de se retirer à tout moment, sans justification nécessaire et sans répercussion négative. En cas de retrait, ils·elles pouvaient demander la suppression des données déjà enregistrées les concernant.

L'ensemble du protocole de recherche a fait l'objet d'une approbation officielle par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université de Fribourg (Ref-No. : 2024-973).

Bien qu'aucune compensation financière ne soit accordée, les étudiant·e·s en psychologie pouvaient bénéficier de 1,5 point d'expérience pour leur participation.

Description de l'étude

L'étude durait environ 90 minutes. La participation à l'étude s'est déroulée selon plusieurs étapes successives, structurées afin d'assurer une prise de mesures rigoureuse et un déroulement cohérent de l'expérience (Figure 1).

Dans un premier temps, les participant·e·s ont été accueilli·e·s et ont reçu une présentation complète du protocole expérimental. Des instructions détaillées leur ont été fournies concernant le déroulement de la séance ainsi que l'utilisation du casque de réalité virtuelle. Ensuite, ils devaient lire et signer le formulaire de consentement de notre étude, ainsi que compléter une fiche d'information personnelle sur leurs données sociodémographiques (Annexe 5). Cette première phase d'accueil durait environ cinq minutes.

Ensuite, les participant·e·s ont complété plusieurs questionnaires évaluant leur humeur, leur niveau d'anxiété, divers indicateurs de bien-être psychologique. Plus précisément, ils·elles complétaient le PANAS-SF (Thompson, 2007) afin d'évaluer les affects positifs et négatifs, le STAI-Y-A (Spielberger, 2015) pour mesurer le niveau d'anxiété d'état, et le SMS (Tanay & Bernstein, 2013) pour évaluer la pleine conscience (Annexes 6, 7 et 8). Cette étape dure environ dix minutes.

Par la suite, les chercheur·euse·s ont procédé à l'installation des capteurs physiologiques destinés à enregistrer différents paramètres corporels, notamment des paramètres de mesures cardiaques par électrocardiogramme (ECG), l'activité électrodermale (EDA) et un casque pour enregistrer les ondes cérébrales par électro-encéphalogramme (EEG). Afin d'assurer une bonne conductivité du signal EEG, une solution saline a été appliquée au niveau des électrodes placées sur le cuir chevelu. Au total, l'installation de ces dispositifs a nécessité approximativement dix minutes. Ensuite, un premier enregistrement des données baseline ont été réalisées : les participant·e·s devaient garder les yeux ouverts pendant une minute puis fermer les yeux pendant une autre minute.

Les participant·e·s ont ensuite réalisé une tâche de récompense en ligne, la Fribourg Reward Task (FRT), visant à évaluer leurs réactions cognitives et motivationnelles face à différentes formes de récompense. Cette activité s'est étendue sur environ quinze minutes.

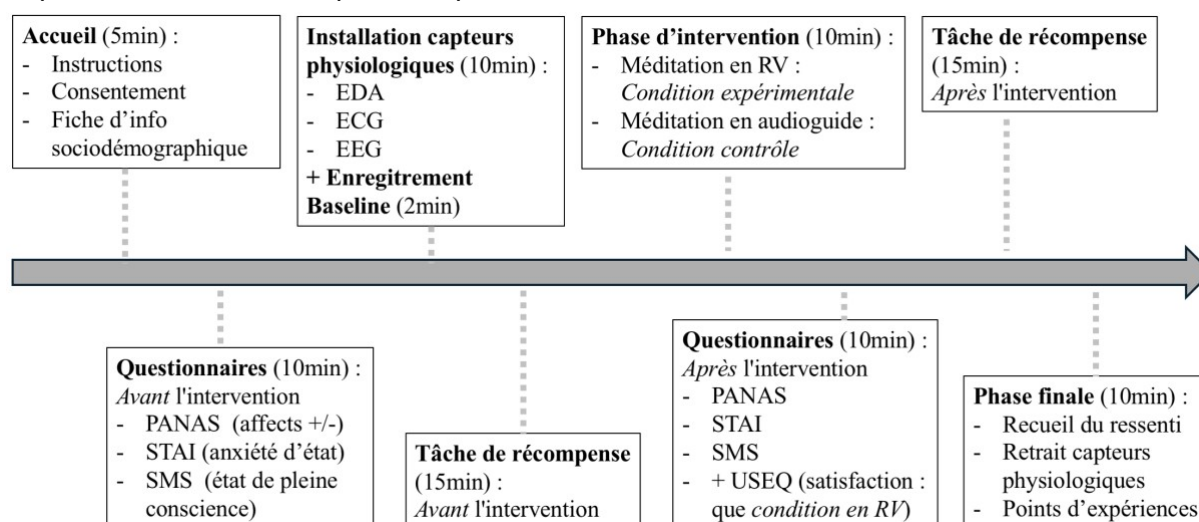
La phase centrale de l'expérimentation correspondait à une séance de méditation guidée, réalisée en anglais soit en réalité virtuelle, soit en format audio. D'une durée d'environ dix minutes, cette séance se déroulait à l'aide d'un casque Oculus VR utilisant l'application *Guided Meditation* pour les participant·e·s de la condition expérimentale. L'exercice invitait à se concentrer sur la respiration, en synchronisation avec des stimuli visuels apaisants et des sons immersifs inspirés de la nature, afin de favoriser un état de relaxation et de pleine présence. Pour

les participant·e·s de la condition contrôle, la séance consistait en une méditation audioguidée intitulée *8 Minutes of Mindfulness*, dans laquelle une image fixe montrant une femme assise en tailleur était affichée, tandis qu'une voix en anglais donnait des consignes de pleine conscience sur fond musical doux via le site Take Care Coaching (s. d.).

Enfin, à l'issue de la séance, les participant·e·s ont de nouveau complété les mêmes questionnaires (PANAS-SF, STAI-Y-A, SMS) et répété la tâche cognitive initiale (FRT). De plus, celles et ceux qui étaient dans la condition de réalité virtuelle remplissaient un questionnaire d'évaluation de la satisfaction des utilisateur·ice·s (USEQ) (Annexe 9). Cette phase, comprenant les mesures post-expérimentales, a duré environ vingt-cinq minutes. À l'issue de l'expérience, nous avons commencé par demander aux participant·e·s comment ils se sentaient et nous avons procédé au retrait des capteurs physiologiques. Pour celles et ceux qui le demandaient, nous leur avons attribué leurs points d'expériences. Cette dernière phase durait environ dix minutes.

Figure 1

Représentation schématique de la procédure



Dans le but de répondre aux hypothèses de la présente thèse, plusieurs types de mesures ont été exploitées. Les informations issues de la fiche sociodémographique ont notamment permis de recueillir des données relatives à la familiarité des participant·e·s avec la réalité virtuelle. Concernant les mesures subjectives, le questionnaire *Positive and Negative Affect Schedule* (PANAS-SF ; Thompson, 2007) a été administré afin d'explorer les affects positifs et négatifs des participant·e·s à deux temps de mesure, avant et après la méditation. De plus, le *State-Trait Anxiety Inventory* (STAI ; Spielberger et al., 2015), dans sa version Y-A (anxiété d'état), a été utilisé pour évaluer le niveau d'anxiété après la méditation. En ce qui concerne les mesures

objectives, des données issues de l'électrocardiogramme (ECG) ont été analysées afin d'extraire l'indice RMSSD (*Root Mean Square of Successive Differences*), reflétant la variabilité de la fréquence cardiaque. Enfin, les mesures comportementales reposaient sur la performance à la *Fribourg Reward Task* (FRT), calculée à partir d'un score moyen et évaluée à deux reprises : avant et après la méditation.

Matériel utilisé

Le dispositif expérimental repose sur l'utilisation d'un ordinateur Dell OptiPlex fonctionnant sous le système d'exploitation Windows 11 et muni d'un clavier LogiTech. Cet ordinateur permet l'acquisition des données physiologiques ainsi que l'enregistrement des performances liées à la tâche de récompense (FRT). Dans la condition expérimentale, un casque de réalité virtuelle Oculus Quest 2 est employé (Oculus, 2021). L'environnement de méditation en réalité virtuelle est proposé via l'application Guided Meditation VR. La séance de méditation guidée retenue dans ce contexte est intitulée Lac Azur. La condition contrôle repose sur l'utilisation d'une méditation audio-guidée intitulée *8 Minutes of Mindfulness*, disponible sur InsightTimer (Take Care Coaching, s. d.). L'étude s'inscrit dans un projet de recherche plus large mené à l'Université de Fribourg, dans un groupe de recherche en psychologie clinique. Le traitement des données physiologiques provenant de l'EEG, de l'ECG et de l'EDA a été effectué par Michael Papinutto en utilisant le langage de programmation Python (version 3.13.7). Il convient de préciser que la présente étude s'inscrit dans un protocole de recherche plus large, au sein duquel plusieurs mesures physiologiques complémentaires ont été collectées, notamment l'activité électrodermale (EDA) et l'activité cérébrale par électroencéphalogramme (EEG). Ces données, dont le traitement requiert une expertise technique spécifique, feront l'objet d'analyses ultérieures dans le cadre de travaux distincts. Le présent mémoire se concentre sur les variables directement reliées aux hypothèses formulées, à savoir les mesures affectives, anxieuses, physiologiques cardiaques et comportementales.

Dans un premier temps, nous allons présenter en détail les mesures subjectives utilisées dans la présente étude.

La mesure des affects positifs et négatifs a été réalisée à l'aide de la version courte du Positive and Negative Affect Schedule (**PANAS-SF**) développée initialement par Watson et al. (1988) et adaptée en version abrégée par Thompson (2007) (Annexe 6). Cette échelle comprend 20 items, répartis en deux sous-échelles de 10 items chacune, évaluant respectivement l'affect positif (PA) (intéressé, excité, fort, enthousiaste, fier, alerte, inspiré, déterminé, attentif, actif) et l'affect négatif

(NA) (anxieux, contrarié, coupable, effrayé, hostile, irritable, honteux, nerveux, agité). Les items sont évalués sur une échelle de Likert à cinq points, allant de 1 « très peu ou pas du tout », 2 « un peu », 3 « modérément », 4 « assez » à 5 « extrêmement ». Les participant·e·s indiquaient ainsi dans quelle mesure ils ressentaient ces émotions à l'instant présent. Les scores de chaque sous-échelle sont obtenus par la somme des réponses : pour l'affect positif, le score total peut varier de 10 à 50, et pour l'affect négatif, également de 10 à 50. Des scores élevés à la sous-échelle d'affect positif indiquent un haut niveau d'émotions agréables et d'énergie, tandis que des scores élevés à la sous-échelle d'affect négatif traduisent la présence plus marquée d'émotions désagréables. Il n'existe pas de seuil clinique déterminé pour le PANAS-SF. L'échelle est principalement utilisée à des fins de recherche pour évaluer la variation des affects dans différents contextes ou au cours du temps.

Sur le plan psychométrique, le PANAS-SF présente de bonnes qualités de validité et de fidélité. Dans la littérature, les coefficients α de Cronbach rapportés varient de .78 à .90 pour la sous-échelle d'affect positif et de .74 à .87 pour la sous-échelle d'affect négatif (Thompson, 2007 ; Watson et al., 1988), indiquant une cohérence interne satisfaisante. Dans le présent échantillon, la cohérence interne du PANAS-SF est très bonne, avec un $\alpha = .85$ et .88 pour la sous-échelle d'affect positif (mesurée avant et après la méditation), et un $\alpha = .84$ et .80 pour la sous-échelle d'affect négatif (mesurée aux deux mêmes temps). Le PANAS-SF a été administré aux participant·e·s à deux reprises, avant et après la séance de méditation, afin d'évaluer l'évolution de leur régulation émotionnelle.

Ensuite, nous avons utilisé le questionnaire State-Trait Anxiety Inventory (**STAI** ; Spielberger et al., 2015), dans sa forme Y-A (anxiété d'état), qui est un questionnaire qui mesure les réactions émotionnelles à un moment donné, contrairement à la forme Y-B (anxiété-trait), qui évalue le niveau d'anxiété ressenti de manière générale au quotidien. Notre étude utilise la sous-échelle STAI-Y-A afin de déterminer le niveau d'anxiété avant et après l'intervention (Annexe 7). Les participant·e·s répondent à 20 items en auto-évaluation, sur une échelle de Linkert allant de 1 « pas du tout » à 4 « très souvent ». Ainsi, un score total varie entre 20 et 80. Plus le score est haut, plus le niveau d'anxiété est élevé. La cohérence interne du STAI-Y-A est élevée, avec un alpha de Cronbach compris entre .86 et .95 (Spielberger et al., 2015). Dans le présent échantillon, la cohérence interne du STAI-Y-A est très bonne, avec un $\alpha = .86$ pour les items mesurant l'anxiété avant la méditation et un $\alpha = .81$ pour les items mesurant l'absence d'anxiété avant la méditation. Ensuite, la cohérence interne du STAI-Y-A après la méditation est bonne, avec un $\alpha = .76$ pour les items mesurant l'anxiété et un $\alpha = .73$ pour les items mesurant l'absence

d'anxiété. Le STAI-Y-A a été administré avant et après la séance de méditation afin d'évaluer l'évolution du niveau d'anxiété d'état des participant·e·s.

Enfin, une fiche d'informations personnelles était également à remplir par les participant·e·s au début de l'expérience, afin de recueillir certaines données sociodémographiques (Annexe 5). La première partie portait sur les informations générales telles que l'âge, le genre, la profession, la langue parlée et le niveau de compréhension de l'anglais. La deuxième partie s'intéressait à la familiarité avec la réalité virtuelle, puis à la familiarité avec la méditation. Enfin, plusieurs questions concernaient la santé générale des participant·e·s (qualité du sommeil, antécédents médicaux, troubles neurodéveloppementaux et niveau d'activité physique). Dans l'analyse de la présente étude, nous avons extrait la variable de « familiarité avec la réalité virtuelle ».

Dans un deuxième temps, nous allons présenter les mesures objectives utilisées dans la présente étude.

L'activité cardiaque a été mesurée via un capteur EcgMove 4 qui a été placé sur le thorax des participant·e·s, au moyen d'une ceinture thoracique ajustée autour du thorax (Movisens, 2020). L'électrocardiogramme (ECG) enregistre l'activité électrique du cœur et permet d'extraire la fréquence et la variabilité de la fréquence cardiaque, indicateurs du système nerveux autonome. Une activation sympathique accrue, notamment en situation de stress ou d'activation émotionnelle, est associée à une augmentation de la fréquence cardiaque et à une diminution de la variabilité de fréquence cardiaque (Thayer et al., 2012 ; Laborde et al., 2017).

L'activité électrodermale (EDA) a été mesurée sur la base d'un capteur EdaMove 4 qui a été placé sur le poignet des participant·e·s, au moyen de deux électrodes sensibles positionnées sur la paume de la main (Movisens, 2020). L'activité électrodermale est un indicateur de l'activité du système nerveux sympathique, lequel s'active notamment en situation de stress ou d'activation émotionnelle, entraînant une augmentation de la conductance cutanée via l'activité des glandes sudoripares (Van der Mee et al., 2021). Il est à noter que cette mesure ne fera pas l'objet d'analyses dans le présent travail.

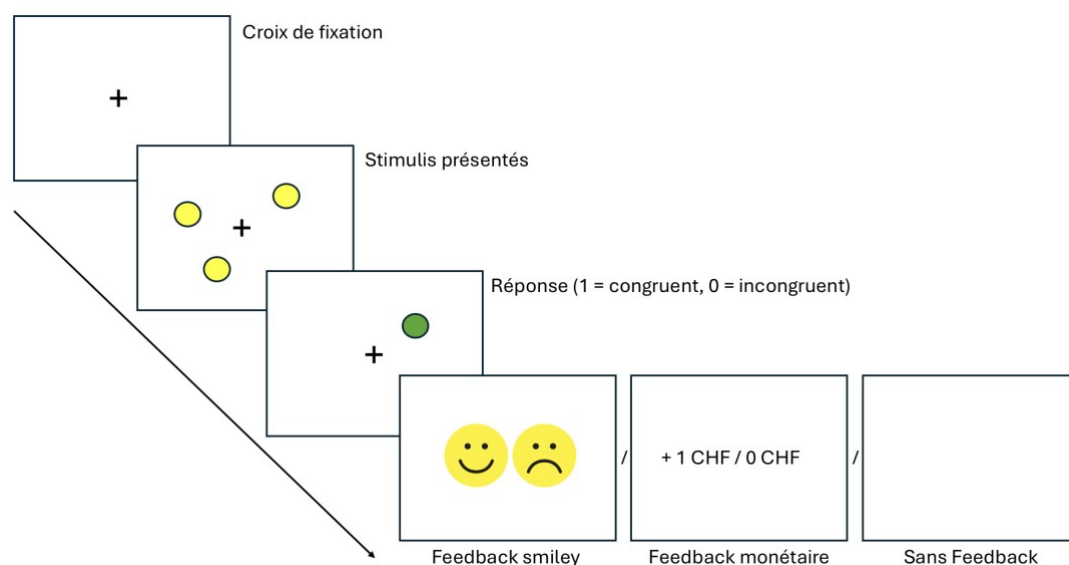
L'activité cérébrale a été mesurée via un casque Emotiv Flex 2.0, composé de 32 électrodes, qui a été placé sur le cuir chevelu des participant·e·s afin de mesurer l'activité cérébrale (Emotiv, 2025). Ce dispositif d'électrocéphalogramme (EEG) permet d'évaluer l'activité cérébrale oscillatoire en mesurant différentes bandes de fréquences, lesquelles sont couramment utilisées pour décrire des variations d'états mentaux, en particulier ceux liés à l'attention, à la régulation émotionnelle et aux pratiques méditatives (Fox et al., 2016). Il est à noter que cette mesure ne fera pas l'objet d'analyses dans le présent travail.

Enfin, nous allons présenter une tâche de récompense, qui donnera lieu à une mesure comportementale.

La Fribourg Reward Task (FRT) est une tâche comportementale que les participant·e·s ont réalisée à deux reprises au cours de l'étude (Figure 2). Cette tâche vise à examiner l'influence de la récompense sur différents processus cognitifs, tels que la performance, ainsi que sur la modulation de l'humeur et de la motivation (Tandon et al., 2022). Les participant·e·s étaient confronté·e·s à quatre phases distinctes : une phase d'entraînement (Practice), une phase de feedback par smiley (feedback positif ou négatif), une phase de feedback monétaire (Feedback avec ou sans gain), et une phase sans feedback (No Feedback).

Figure 2

Représentation schématique de la FRT



Au cours de la tâche, les participant·e·s effectuent une tâche de mémoire visuospatiale. Chaque essai débute par une fixation d'une croix durant 500 ms, ensuite trois cercles jaunes sont présentés pendant 2000 ms, suivis d'un délai de 3000 ms, puis d'un cercle vert auquel les participant·e·s doivent répondre en 1500 ms en indiquant si sa position correspond à l'un des cercles précédents. La réponse est donnée via un appui sur une touche du clavier, avec la main gauche lorsque la position correspond (touche 1 = congruent), et avec la main droite lorsqu'elle ne correspond pas (touche 0 = incongruent). Un feedback de 1500 ms est ensuite affiché : soit un feedback positif leur était adressé s'ils répondent correctement (smiley heureux ou + 1 CHF),

soit un feedback négatif s'ils répondent incorrectement (smiley malheureux ou 0 CHF), soit un masque blanc n'indiquant aucun feedback. Il est à noter que dans la présente étude, seule la condition de difficulté faible (trois cercles) a été retenue, la condition de difficulté élevée (sept cercles) n'ayant pas été incluse. À l'inverse, l'étude de référence (Tandon et al., 2022) intégrait deux niveaux de difficulté distincts.

La FRT permet entre autres de recueillir des paramètres comportementaux et affectifs. Sur le plan comportemental, la performance est évaluée à partir du taux de réponses correctes, exprimé sur une échelle allant de 1 (100 % de réponses correctes) à 0 (0 % de réponses correctes). Sur le plan affectif, elle évalue la réactivité émotionnelle à la récompense, à l'aide d'un score d'humeur mesuré sur une échelle de stress de 1 (mauvaise humeur) à 10 (bonne humeur).

Résultats

Dans cette étude, nous avons examiné les effets d'une méditation immersive en réalité virtuelle (RV) sur la régulation émotionnelle (affects positifs et négatifs), l'anxiété d'état, ainsi que la sensibilité à la récompense, en comparaison avec une méditation audioguidée. Nous avons analysé les trois hypothèses suivantes. Tout d'abord, nous avons examiné si la méditation en RV entraînait une amélioration plus marquée des affects positifs et une diminution plus importante des affects négatifs que la méditation audioguidée (H1). Afin de répondre à la H1, une première ANOVA mixte 2 (Temps, facteur intrasujet : avant, après) × 2 (Condition, facteur intersujet : RV, audioguidée) a été effectuée afin d'évaluer l'effet de la méditation sur les scores de la sous-échelle des affects *positifs* du PANAS. De plus, une deuxième ANOVA mixte 2 (Temps, facteur intrasujet : avant, après) × 2 (Condition, facteur intersujet : RV, audioguidée) a été effectuée afin d'évaluer l'effet de la méditation sur les scores de la sous-échelle des affects *négatifs* du PANAS.

Ensuite, nous avons investigué si l'expérience préalable avec la RV pouvait modérer la relation entre la variabilité de la fréquence cardiaque (mesuré par l'indice RMSSD) durant la méditation et l'anxiété d'état après la méditation dans la condition immersive (H2). Afin de répondre à la H2, une analyse de modération a été effectuée afin de savoir si la prédiction du score de l'anxiété après la méditation (STAI-S après) par le RMSSD durant la méditation est modéré par la familiarité avec la RV (oui Vs non). Préalablement à cette analyse, la corrélation entre le critère (anxiété après la méditation) et la variable prédictive (RMSSD) a été examinée afin d'évaluer la force et la direction de leur relation initiale, avant de vérifier si la variable modératrice (familiarité

avec la RV) en modifiait l'intensité. De plus, une analyse exploratoire a évalué si la méditation a un impact sur le score d'anxiété d'état (STAI-Y-A), via une ANOVA mixte 2 (Temps, facteur intrasujet : avant, après) × 2 (Condition, facteur intersujet : RV, audioguidée).

Enfin, nous avons examiné l'évolution de la performance à la tâche de récompense (FRT) avant et après la méditation, ainsi que les différences éventuelles entre les phases de la tâche et selon le type de condition (H3). Afin de répondre à la H3, une ANOVA mixte à mesures répétées a été réalisée sur la performance à la tâche FRT, avec le Temps (avant vs après méditation) et la Phase (Feedback, Money, NoFeedback) comme facteurs intrasujets, et la Condition (réalité virtuelle vs audioguidée) comme facteur intersujets.

L'ensemble des résultats a été analysé sur les logiciels RStudio (2023.09.1+494) et Excel (Microsoft Excel 2016 ; version 16.16.27), à partir d'un MacBook (Retina, 12-inch, Early 2015).

Les statistiques descriptives relatives aux hypothèses sont présentées dans le Tableau 2. Celui-ci regroupe les scores d'affects positifs et négatifs (PANAS-SF), les scores d'anxiété d'état avant et après la méditation (STAI-Y-A) ainsi que la variabilité de la fréquence cardiaque durant la méditation (HRV_RMSSD), et la performance à la tâche de récompense (FRT) avant et après la méditation, en fonction de la condition expérimentale.

Tableau 2

Statistiques descriptives des variables affectives, physiologiques et comportementales

Variable	Condition	Temps	M	ET
Affect positif (PANAS -SF)	RV	Avant	29.9	7.41
		Après	28.2	8.28
	Audioguidée	Avant	28.6	5.85
		Après	27.4	6.94
Affect négatif (PANAS -SF)	RV	Avant	12.6	4.32
		Après	11.2	3.30
	Audioguidée	Avant	13.6	4.87

		Après	10.6	2.20
Anxiété état (STAI-Y-A)	RV	Avant	36.2	8.50
		Après	30.6	6.87
	Audioguidée	Avant	36.5	9.07
		Après	30.7	4.67
RMSSD (log)	RV	Pendant	1.79	.210
Performance (FRT)	RV	Avant	.880	.079
		Après	.894	.101
	Audioguidée	Avant	.883	.072
		Après	.891	.069

Note. Abréviations : RV = réalité virtuelle ; PANAS-SF = Positive and Negative Affect Schedule (version abrégée) ; STAI-Y-A = State-Trait Anxiety Inventory – État ; RMSSD = variabilité de la fréquence cardiaque (scores log-transformés) ; FRT = Fribourg Reward Task. Les valeurs sont des moyennes (M) et écarts-types (ET).

Effets de la méditation sur les affects positifs et négatifs (PANAS-SF)

Conditions d'applications

Dans un premier temps, nous avons examiné les conditions d'applications de l'ANOVA mixte, en commençant par la normalité de nos données à l'aide de l'analyse des histogrammes, des boxplots et des tests de normalité de Kolmogorov-Smirnov sur l'échelle du PANAS-SF (Annexe 10).

Concernant les histogrammes, la distribution des données n'est pas entièrement normale. Les affects positifs, mesurés avant et après la méditation, suivent une distribution normale, tandis que les affects négatifs présentent une distribution asymétrique positive, indiquant un effet plancher, dans les deux conditions (RV et Audio-guide). Ensuite, concernant les boxplots, nous pouvons observer que les affects positifs, mesurés avant et après la méditation sont assez

symétriques. En effet, les moustaches sont relativement comparables, les médianes sont centrées au milieu de la box, mais dans la condition audioguidée avant la méditation, il se trouve trois valeurs extrêmes. Cependant, les boxplots des affects négatifs mesurés avant et après la méditation montrent des valeurs extrêmes, avec des moustaches de longueurs inégales, indiquant une asymétrie de la distribution, dans les deux conditions. Enfin, les tests de Kolmogorov–Smirnov indiquent que l'hypothèse de normalité n'est pas respectée pour l'ensemble des variables. Les tests s'avèrent non significatifs ($p > .05$) pour l'affect positif, avant et après la séance de méditation, ce qui suggère une distribution normale dans les deux conditions. En revanche, ils sont significatifs ($p < .05$) pour l'affect négatif, avant et après la méditation, indiquant une violation de l'hypothèse de normalité dans les deux conditions.

Le test de Levene indique une hétérogénéité partielle des variances entre les groupes. En effet, l'hypothèse d'homogénéité est violée pour l'affect positif avant la méditation ($p < .05$) ainsi que pour l'affect négatif après la méditation ($p < .05$). En revanche, elle est respectée pour l'affect positif après ($p > .05$) et l'affect négatif avant la méditation ($p > .05$). Par ailleurs, le test de Box est significatif, $\chi^2(10) = 25.53$, $p < .01$, indiquant que l'homogénéité de la matrice de covariances n'est pas respectée.

En somme, les conditions d'application de l'ANOVA n'étant pas parfaitement remplies, des analyses non paramétriques ont également été réalisées au moyen du test fondé sur la transformation des rangs alignés (Aligned Rank Transform ; ART). Nous allons donc d'abord présenter les résultats de l'ANOVA et ensuite les comparer avec les tests non paramétriques.

Analyses statistiques

Une première ANOVA mixte 2 (Temps, facteur intrasujet : avant, après) $\times$ 2 (Condition, facteur intersujet : RV, audioguidée) a été effectuée afin d'évaluer l'effet de la méditation sur les scores de la sous-échelle des affects *positifs* du PANAS-SF.

L'analyse a montré un effet principal significatif du Temps, $F(1,92) = 8.68$, $p < .01$, $\eta^2g = .011$, indiquant que les scores d'affect positif diminuent significativement entre avant (audioguide : $M = 28.6$, $ET = 5.85$; RV : $M = 29.9$, $ET = 7.41$) et après la méditation (audioguide : $M = 27.4$, $ET = 6.94$; RV : $M = 28.2$, $ET = 8.28$), dans toutes les conditions (Figure 3). En revanche, ni l'effet principal de la Condition ($F(1,92) = 0.57$, $p > .05$), ni l'interactions Condition $\times$ Temps ($F(1,92) = 0.25$, $p > .05$) ne sont significatifs.

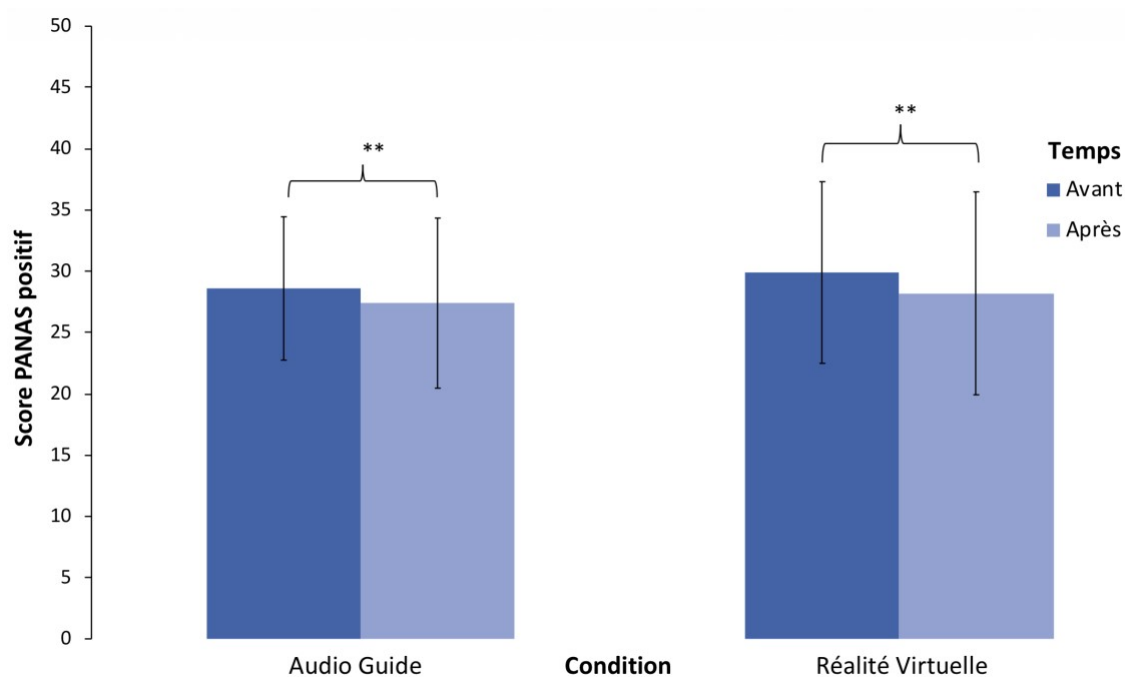
Ensuite, une deuxième ANOVA mixte 2 (Temps, facteur intrasujet : avant, après) × 2 (Condition, facteur intersujet : RV, audioguidée) a été effectuée afin d'évaluer l'effet de la méditation sur les scores de la sous-échelle des affects *négatifs* du PANAS-SF.

L'analyse révèle un effet principal significatif du Temps, $F(1,92) = 32.44$, $p < .001$, $\eta^2g = .079$, indiquant que les scores d'affect négatif diminuent significativement entre avant (audioguide : $M = 13.6$, $ET = 4.87$; RV : $M = 12.6$, $ET = 4.32$) et après la méditation (audioguide : $M = 10.6$, $ET = 2.20$; RV : $M = 11.2$, $ET = 3.30$), dans toutes les conditions (Figure 4). En revanche, l'effet principal de la Condition ($F(1,92) = 0.071$, $p > .05$) n'est pas significatif. L'interaction Condition × Temps n'atteint pas non plus le seuil de signification ($F(1,92) = 3.69$, $p > .05$).

Ensuite, l'analyse des tests non paramétriques vient confirmer les résultats présentés cidessus. En effet, les résultats de ces tests, fondés sur la transformation des rangs alignés (Aligned Rank Transform ; ART), permettent d'examiner les effets de la Condition, du Temps, ainsi que l'interaction Condition × Temps sur le score des affects positifs et sur le score des affects négatifs (PANAS-SF). Les résultats confirment un effet principal significatif du Temps, $F(1, 92) = 4.33$, $p < .05$, avec une diminution significative du score des affects positifs après la méditation, dans les deux conditions. De plus, les résultats confirment une diminution significative des affects négatifs après la méditation, $F(1, 92) = 37.30$, $p < .001$, dans les deux conditions.

Figure 3

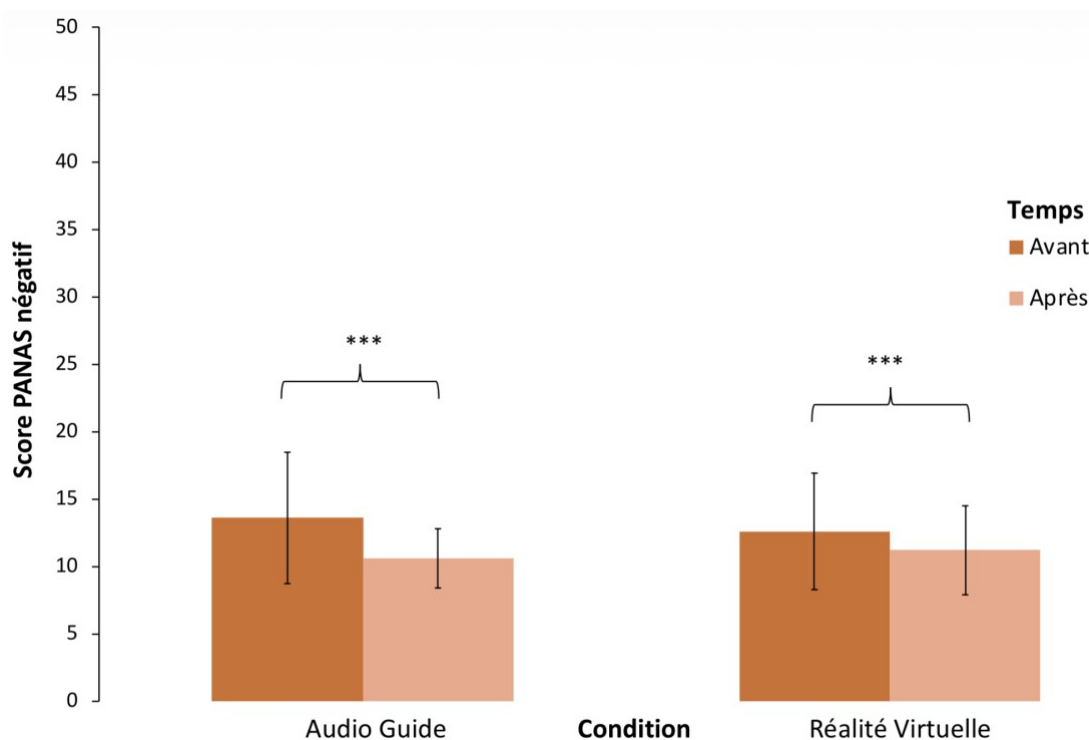
Score des Affects Positifs à l'échelle du PANAS-SF



Note. ** $p < .01$. Temps = Avant vs Après la méditation

Figure 4

Score des Affects Négatifs à l'échelle du PANAS-SF



Note. *** $p < .001$. Temps = Avant vs Après la méditation

Effet modérateur de la familiarité avec la RV sur le lien RMSSD et STAI

Conditions d'applications

Dans un premier temps, nous avons examiné les conditions d'applications, en commençant par la normalité de nos données à l'aide de l'analyse des histogrammes, des boxplots et des tests de normalité de Kolmogorov-Smirnov sur score du RMSSD durant la méditation dans la condition de RV (Annexe 11). Les résultats ont été analysés après application de transformations mathématiques, en particulier le logarithme en base 10 des scores du RMSSD, en raison d'une distribution fortement asymétrique et sur la recommandation de M. Michael Papinutto. L'histogramme montre une distribution normale des scores du RMSSD durant la méditation. Ensuite, le boxplot est symétrique. En effet, les moustaches sont relativement comparables, les médianes sont centrées au milieu de la box, et il n'y a pas de valeurs extrêmes. Enfin, le test de Kolmogorov-Smirnov indique que l'hypothèse de normalité est respectée pour l'ensemble des

variables. Effectivement, le test s'avère non significatif ($p > .05$), ce qui suggère une distribution normale.

Dans un deuxième temps, nous avons examiné les conditions d'applications, en commençant par la normalité de nos données à l'aide de l'analyse des histogrammes, des boxplots et des tests de normalité de Kolmogorov-Smirnov sur l'échelle du STAI après la méditation dans la condition de RV. Les résultats ont été examinés après l'exclusion de trois valeurs extrêmes, afin de réduire l'impact des observations atypiques. L'histogramme montre une distribution globalement normale des scores du STAI après la méditation dans la condition en RV avec une légère asymétrie positive. Ensuite, concernant le boxplot, nous pouvons observer que le score du STAI après la méditation est assez symétriques. En effet, les moustaches sont relativement comparables, la médiane est centrée au milieu de la box, mais une dernière valeur extrême persiste. Enfin, le test de Kolmogorov-Smirnov indiquent que l'hypothèse de normalité est respectée. Effectivement, le test s'avère non significatif ($p > .05$), ce qui suggère une distribution normale. Au final, le nombre de participant·e·s retenus pour tester cette hypothèse est de 42, car seuls ceux de la condition expérimentale (en RV) ont été pris en compte, après l'exclusion de trois valeurs extrêmes.

Ensuite, nous avons examiné les résidus du modèle de modération, conformément aux conditions d'application de la régression linéaire.

Afin de vérifier la validité des inférences issues du modèle, une analyse détaillée des résidus a été menée (après avoir procédé à la modération). Ces diagnostics permettent de s'assurer du respect des principales conditions d'application de la régression linéaire.

Condition 1 : Linéarité

Le graphique *Residuals vs Fitted* montre une dispersion relativement aléatoire des résidus autour de la ligne horizontale correspondant à une valeur résiduelle égale à 0. La courbe de lissage (ligne rouge) reste globalement proche de cette ligne, malgré une légère courbure aux valeurs prédites les plus élevées. Ainsi, la condition de linéarité peut donc être considérée comme respectée.

Condition 2 : Normalité des résidus

Le *Normal Q–Q plot* montre que les résidus suivent globalement la droite théorique de la distribution normale. De légers écarts sont observés aux extrémités de la distribution, notamment pour quelques observations extrêmes, mais ces déviations restent limitées. Cette observation est confirmée par le test de Shapiro–Wilk qui est non significatif ($W = 0.98, p > .05$). Cela indique que l'hypothèse de normalité des résidus est respectée.

Condition 3 : Homogénéité de la variance (homoscédasticité)

Le graphique *Scale-Location* révèle une dispersion relativement homogène des résidus standardisés le long des valeurs ajustées. La ligne de lissage présente une légère variation, mais aucune tendance marquée indiquant une augmentation ou une diminution systématique de la variance. Cette observation est confirmée par le test de non-constance de la variance (*ncvTest*), qui est non significatif ($\chi^2(1) = .99, p > .05$), ce qui indique l'absence d'hétéroscédasticité statistiquement détectable. Ainsi, l'hypothèse d'homogénéité de la variance est donc respectée.

En somme, l'analyse des résidus indique que les principales hypothèses de la régression linéaire sont globalement respectées. L'analyse des graphiques et des tests statistiques ne révèlent pas de violation significative des conditions de normalité des résidus ni d'homogénéité de la variance, et la relation entre les variables peut être considérée comme approximativement linéaire. Ainsi, les résultats du modèle de modération peuvent être interprétés de manière fiable.

Analyses statistiques

Une analyse de modération a été effectuée afin de savoir si la prédiction du score de l'anxiété après la méditation (STAI après) par le RMSSD durant la méditation est modéré par la familiarité avec la RV (oui Vs non).

Le niveau de variabilité de la fréquence cardiaque pendant la méditation, mesuré par le RMSSD transformé logarithmiquement et centré, ne prédit pas significativement le score d'anxiété d'état après la méditation, $\beta = .05, t = .20, p > .05$. De même, la familiarité avec la RV ne constitue pas un prédicteur significatif du score d'anxiété (STAI) après la méditation, $\beta = -.20, t = -1.23, p > .05$. Enfin, l'effet d'interaction entre le RMSSD pendant la méditation et la familiarité avec la RV

n'est pas significatif, $\beta = -.09$, $t = -0.38$, $p > .05$, ce qui suggère que la familiarité avec la RV ne modère significativement pas la relation entre le RMSSD durant la méditation et l'anxiété perçue après la méditation.

En somme, dans l'ensemble, ces résultats indiquent que la relation entre la variabilité de la fréquence cardiaque pendant la méditation et l'anxiété après la méditation n'est pas modérée par la familiarité avec la RV.

Effet de la méditation sur l'anxiété d'état

Conditions d'application

Dans un premier temps, nous avons examiné les conditions d'applications de l'ANOVA mixte, en commençant par la normalité de nos données à l'aide de l'analyse des histogrammes, des boxplots et des tests de normalité de Kolmogorov-Smirnov sur l'échelle du STAI-Y-A (Annexe 12).

Concernant les histogrammes, la distribution des données n'est pas entièrement normale. Le score d'anxiété d'état mesuré avant la méditation dans la condition en RV et celui mesuré après la méditation en audio-guide suivent une distribution normale, tandis que les scores d'anxiété présentent une distribution asymétrique positive, indiquant un effet plancher, avant la méditation dans la condition en audio-guide et après la méditation dans la condition en RV. Ensuite, concernant les boxplots du score de l'échelle du STAI-Y-A, nous observons que les distributions des scores d'anxiété avant et après la méditation sont globalement assez symétriques dans les deux conditions. Les médianes sont relativement centrées dans les boîtes et les moustaches sont de tailles comparables. Néanmoins, nous pouvons noter la présence de plusieurs valeurs extrêmes, en particulier dans la condition en audio-guide avant la méditation ainsi que dans la condition en RV après la méditation. Globalement, les distributions restent assez homogènes entre les conditions, sans forte asymétrie marquée. Enfin, les tests de Kolmogorov-Smirnov indiquent que l'hypothèse de normalité n'est pas respectée pour l'ensemble des variables. Les tests s'avèrent significatifs ($ps < .05$) avant et après la méditation, indiquant une violation de l'hypothèse de normalité dans les deux conditions.

Les tests de Levene indiquent une homogénéité des variances entre les groupes. En effet, l'hypothèse d'homogénéité est respectée pour le score d'anxiété avant ($p > .05$) et après la méditation ($p > .05$). Par ailleurs, le test de Box est significatif, $\chi^2(3) = 8.89$, $p < .05$, indiquant que l'homogénéité de la matrice de covariances n'est pas respectée.

En somme, du fait que les conditions d'application de l'ANOVA ne sont pas parfaitement remplies, nous avons également effectué des analyses non paramétriques en complément, afin de vérifier la robustesse des résultats.

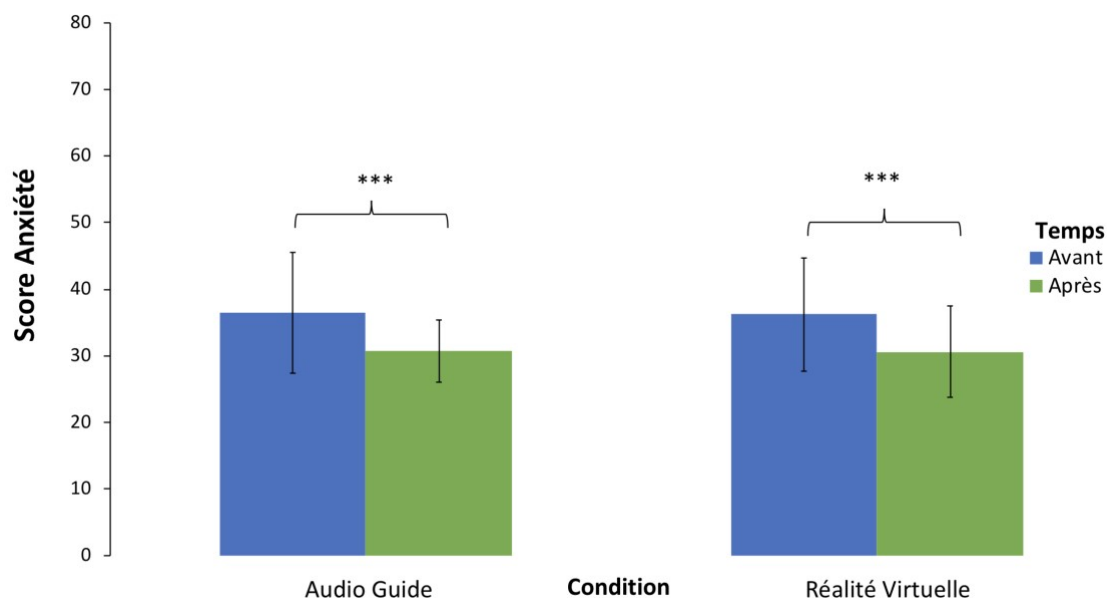
Analyses statistiques

Une ANOVA mixte 2 (Temps, facteur intrasujet : avant, après) × 2 (Condition, facteur intersujet : RV, audioguidée) a été effectuée afin d'évaluer l'effet de la méditation sur les scores d'anxiété d'état, évalué par l'échelle du STAI-Y-A.

L'analyse a montré un effet principal significatif du Temps, $F(1,92) = 61.91$, $p < .001$, $\eta^2g = .13$. Un test Post-hoc indique que le score d'anxiété d'état diminue significativement entre avant (audioguide : $M = 36.5$, $ET = 9.07$; RV : $M = 36.2$, $ET = 8.50$) et après la méditation (audioguide : $M = 30.7$, $ET = 4.67$; RV : $M = 30.64$, $ET = 6.87$), dans toutes les conditions (Figure 5). En revanche, ni l'effet principal de la Condition ($F(1,92) = 0.016$, $p > .05$), ni l'interactions Condition × Temps ($F(1,92) = 0.89$, $p > .05$) ne sont significatifs.

Figure 5

Score de l'anxiété d'état à l'échelle du STAI-Y-A



Note. *** $p < .001$. Temps = Avant vs Après la méditation

Compte tenu de la violation de l'hypothèse de normalité observée lors des vérifications préalables, un test non-paramétrique a été réalisé afin de confirmer les résultats de l'ANOVA mixte. Ainsi, une analyse non-paramétrique fondée sur la transformation des rangs alignés (Aligned Rank Transform ; ART) a été réalisée afin d'examiner les effets de la Condition, du Temps, ainsi que l'interaction Condition $\times$ Temps sur le score d'anxiété d'état (STAI-Y-A). Les résultats confirment un effet significatif du Temps, $F(1, 92) = 64.95$, $p < .001$, avec une diminution significative du score d'anxiété après la méditation, dans les deux conditions.

Effet de la méditation sur la tâche de récompense FRT

Conditions d'application

Dans un premier temps, nous avons examiné les conditions d'application de l'ANOVA, en évaluant la normalité de la performance à la tâche de récompense FRT, autrement appelée « Accuracy » à l'aide des histogrammes, des boxplots et des tests de Kolmogorov–Smirnov (Annexe 13). Concernant les histogrammes, les distributions ne semblent pas parfaitement normales. Bien que la majorité des valeurs se concentre autour des niveaux de performance élevés, certaines observations plus faibles provoquent une asymétrie négative dans toutes les conditions présentes avant et après la méditation. L'analyse des boxplots confirme ces observations : les distributions apparaissent asymétriques avec plusieurs valeurs extrêmes dans toutes les conditions présentes avant et après la méditation. La médiane se trouve relativement au centre de tous les boxplots. Cependant, tous les boxplots ont perdu leurs moustaches supérieures dans toutes les conditions. Enfin, les tests de Kolmogorov–Smirnov indiquent une violation de l'hypothèse de normalité pour toutes les conditions ($ps < .001$). Ainsi, les distributions d'Accuracy ne peuvent être considérées comme normales, ni avant ni après la méditation, que ce soit en RV ou en audio-guide. Ensuite, le test de Levene s'avère significatif ($p < .05$), indiquant une hétérogénéité des variances. Ainsi, au regard de ces résultats, l'hypothèse de normalité étant globalement violée, l'utilisation de tests non paramétriques apparaît appropriée en complément de l'ANOVA.

Analyses statistiques

Une ANOVA mixte 2 (Temps : avant vs après méditation, facteur intrasujet) $\times$ 3 (Phase :

feedback, money, no feedback, facteur intrasujet) $\times$ 2 (Condition : audioguide vs RV, facteur intersujet) a été réalisée afin d'évaluer l'effet de ces variables sur la performance à la tâche de FRT (accuracy).

Il n'existe aucun effet principal significatif de la Condition, $F(1, 92) < .001$, $p > .05$, $\eta^2g < .001$.

L'analyse n'a relevé aucun effet principal significatif du Temps, $F(1, 92) = 2.23$, $p > .05$, $\eta^2g < .01$.

Les résultats ne montrent également pas d'effet principal significatif de la Phase, $F(2, 184) = .23$, $p > .05$, $\eta^2g < .001$.

Compte tenu de la violation de l'hypothèse de normalité observée lors des vérifications préalables, un test non-paramétrique a été réalisé afin de confirmer les résultats de l'ANOVA mixte. Ainsi, une analyse non-paramétrique fondée sur la transformation des rangs alignés (Aligned Rank Transform ; ART) a été réalisée afin d'examiner les effets de la Condition, du Temps et de la Phase sur la performance (Accuracy). Les résultats confirment aucun effet principal significatif de la Condition, $F(1, 92) = .38$, $p > .05$, ni d'effet principal significatif du Temps, $F(1, 460) = 1.88$, $p > .05$. De plus, aucun effet principal significatif de la Phase n'a été montré, $F(2, 460) = 0.14$, $p > .05$.

Enfin, une synthèse des résultats sont présentés dans le Tableau 3, afin d'avoir une vue d'ensemble des résultats selon chaque hypothèse.

Tableau 3

Synthèse des résultats selon les hypothèses

Hypothèse	Analyse	Effet	Statistique	p-value	Taille d'effet
H1	ANOVA mixte (PANAS positif)	Temps	$F(1,92) = 8.68$	< .01	$\eta^2g = .011$
		Condition	$F(1,92) = .57$	> .05	$\eta^2g = .0054$
H1	ANOVA mixte (PANAS négatif)	Temps	$F(1,92) = 32.44$	< .001	$\eta^2g = .079$
		Condition	$F(1,92) = .071$	> .05	$\eta^2g < .001$
H2a	Modération	RMSSD x Familiarité RV	$\beta = -.095$, $t = -0.38$	> .05	n/a

H2b	ANOVA mixte	Temps	$F(1,92) = 61.91$	< .001	$\eta^2g = .13$
	(STAI-Y-A)	Condition	$F(1, 92) < .01$	> .05	$\eta^2g < .001$
H3	ANOVA mixte	Temps	$F(1, 92) = 2.24$	> .05	$\eta^2g < .01$
	(FRT)	Condition	$F(1, 92) < .001$	> .05	$\eta^2g < .001$
		Phase	$F(2, 184) = .23$	> .05	$\eta^2g < .001$

Note. La p -value en **gras** signifie que le résultat est significatif.

La section qui suit vise à interpréter les hypothèses de départ en fonction des résultats obtenus ainsi que de les comparer avec les éléments tirés de la littérature. Elle en propose une analyse critique, en examinant leur portée, les limites de l'étude, les perspectives de recherche qu'ils ouvrent ainsi que leurs implications pour la pratique clinique.

Discussion

La présente étude avait pour objectif d'examiner si une méditation immersive en réalité virtuelle (RV) produisait des bénéfices psychologiques et cognitifs différents de ceux d'une méditation audioguidée. Elle visait d'abord à déterminer dans quelle mesure la méditation en RV, via l'immersion et le sentiment de présence, pouvait favoriser la régulation affective, en termes d'augmentation des affects positifs et de diminution des affects négatifs, comparativement à un format audioguidé. Dans un second temps, l'étude s'intéressait à un mécanisme psychophysiologique, en postulant que la familiarité avec la RV pourrait moduler la relation entre un marqueur d'autorégulation physiologique mesuré pendant la pratique (la variabilité de la fréquence cardiaque via le RMSSD) et le niveau d'anxiété d'état rapporté après la séance. De plus, l'effet de la méditation sur le niveau d'anxiété d'état a été exploré. Enfin, l'étude examinait si la méditation en RV, par rapport à la méditation audioguidée, pouvait également influencer des dimensions cognitives, évaluée à travers la performance à une tâche de récompense.

Interprétation des résultats

Les résultats de la présente étude indiquent que la méditation de pleine conscience pratiquée en réalité virtuelle est tout aussi efficace que celle proposée sous forme d'audioguide pour améliorer la régulation émotionnelle. Plus précisément, conformément à nos attentes, les affects négatifs ont diminué de manière significative entre avant et après la séance de méditation. Cependant, contrairement à nos hypothèses, les affects positifs ont également montré une diminution

significative après la méditation, suggérant que la méditation de pleine conscience améliore principalement les affects négatifs. Ces résultats sont en accord avec ceux de Poetar et al. (2023), qui rapportent également une diminution significative des affects négatifs après une séance de pleine conscience, sans différence entre les modalités (RV vs audioguide). La diminution des affects positifs observée après la séance pourrait s'expliquer par une limite de mesure : l'échelle utilisée (PANAS-SF) opérationnalise l'affect positif principalement comme un affect positif à forte activation (enthousiaste, alerte, inspiré, excité, etc.), c'est-à-dire des états dynamiques et orientés vers l'action. Or, la méditation de pleine conscience induit fréquemment des états de calme, d'acceptation et d'équanimité, qui relèvent davantage d'un affect positif à faible activation (état d'esprit équilibré et non réactif face aux expériences de toute valence) (Desbordes et al., 2014). Ces états de calme ont pu ne pas être capturés (voire être « traduits » en score plus faible) par ces items centrés avant tout sur l'énergie et l'engagement. Dans cette perspective, une baisse du score d'affects positifs au PANAS-SF après la méditation ne signifierait pas nécessairement une diminution du bien-être, mais plutôt un déplacement vers des affects positifs plus apaisés, insuffisamment représentés par cette mesure. De plus, il est possible que les bénéfices de la pleine conscience sur les affects positifs nécessitent une pratique répétée et qu'ils ne soient pas observables après une séance unique. En effet, l'étude de Ter Avest et al. (2020) a montré que les affects positifs augmentaient progressivement de manière significative sur une période de huit semaines, dans le cadre d'un programme de MBCT hebdomadaire, suggérant une association entre la durée de la pratique et l'évolution des affects positifs.

Ensuite, les résultats de notre étude ne mettent pas en évidence d'association significative entre la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) durant la méditation, mesurée par l'indice RMSSD, et l'anxiété perçue rapportée après celle-ci. Ces corrélations diffèrent de celles rapportés par Wolfe et al. (2024), qui ont montré que les participant·e·s présentant les plus fortes diminutions d'anxiété étaient également celles et ceux présentant les plus fortes améliorations de la HRV au cours de la méditation. Cette divergence pourrait notamment s'expliquer par des différences d'approche analytique, Wolfe et al. (2024) s'intéressant aux changements induits par la pratique, alors que notre analyse porte sur un lien entre un indice physiologique mesuré pendant la séance et une évaluation subjective réalisée après celle-ci. Ainsi, les résultats obtenus invitent à nuancer l'idée selon laquelle l'activation parasympathique survenant au cours de la méditation constituerait un reflet direct de la diminution de l'anxiété subjective ressentie à l'issue de la pratique. Sur le plan théorique, la variabilité de la fréquence cardiaque est fréquemment conceptualisée comme un indicateur de flexibilité autonome et, plus largement, de capacité de

régulation (cognitive, affective et physiologique), en lien avec les modèles d'intégration neuroviscérale et de contrôle vagal (Thayer & Lane, 2000 ; Thayer et al., 2012 ; Laborde et al., 2017). Dans cette perspective, un tonus vagal plus élevé est souvent associé à un fonctionnement émotionnel plus ajusté (Thayer & Lane, 2000 ; Thayer et al., 2012). Toutefois, l'absence de relation observée entre l'activité parasympathique pendant l'exercice de pleine conscience et l'anxiété rapportée après celui-ci suggère que le lien entre régulation physiologique et expérience subjective est vraisemblablement plus complexe qu'une correspondance linéaire immédiate, ce qui est cohérent avec l'idée que les composantes subjectives, comportementales et physiologiques de la réponse émotionnelle ne covarient pas nécessairement de façon stricte selon les contextes et les stratégies mobilisées (Gross, 1998, 2015).

D'autre part, l'analyse de modulation n'a révélé aucune interaction significative entre la familiarité avec la réalité virtuelle (RV), la RMSSD et l'anxiété subjective (STAI-Y-A). Autrement dit, la familiarité avec la RV ne semble pas moduler la relation entre ces deux variables dans le cadre de la présente étude. L'absence d'effet de modulation significatif peut être interprétée de plusieurs façons. Premièrement, la mesure de la familiarité avec la RV reposait sur une réponse dichotomique (oui/non), ce qui limite la finesse de l'évaluation. En effet, cette mesure ne permet pas de distinguer les participant·e·s ayant une expérience régulière de la RV de celles et ceux y ayant été exposés de manière occasionnelle, ou même une seule fois. Par conséquent, il est possible que des niveaux d'expérience très hétérogènes aient été regroupés au sein d'une même catégorie, réduisant ainsi la sensibilité de l'analyse et la capacité à détecter un effet modérateur potentiel. De plus, la familiarité avec la RV pourrait constituer une variable plus complexe, impliquant non seulement la fréquence d'utilisation, mais également la durée des expositions, le type d'environnements virtuels expérimentés ou encore le niveau d'aisance technologique des participant·e·s. Ainsi, une mesure plus nuancée et multidimensionnelle de cette familiarité pourrait permettre de mieux saisir son rôle potentiel dans la relation entre les indicateurs physiologiques et l'anxiété subjective.

En outre, une analyse exploratoire a montré que le score d'anxiété d'état a significativement diminué à la suite de la séance de médiation de pleine conscience, dans les deux conditions, indépendamment du support utilisé (RV vs audioguide). L'absence de différence significative entre les groupes conduit à relativiser l'influence de l'immersion technologique dans les effets observés. Il est en effet plausible que les améliorations constatées trouvent leur origine principalement dans les processus fondamentaux de la méditation, notamment le contrôle du souffle, l'orientation volontaire de l'attention et l'induction d'un état de détente, plutôt que dans le recours à un dispositif virtuel. Cette interprétation rejoint les conclusions de nombreux travaux

consacrés à la méditation guidée et à la pleine conscience, qui soulignent leur efficacité pour atténuer l'anxiété d'état et renforcer les capacités attentionnelles (Ngô, 2014 ; Zeidan et al., 2014). Un mécanisme susceptible d'expliquer la diminution de l'anxiété observée à l'issue d'une séance de méditation réside dans la réduction du phénomène de *mind wandering* (vagabondage mental), défini comme l'émergence de pensées spontanées, indépendantes de la tâche en cours, susceptibles de détourner les ressources attentionnelles (Seli et al., 2018). En ce sens, Mrazek et al. (2013) ont montré qu'un entraînement en méditation de pleine conscience entraîne une diminution significative du vagabondage mental. Sur le plan neurofonctionnel, cette réduction du vagabondage mental pourrait être liée à une modulation du default mode network (DMN), réseau cérébral décrit par Raichle et al. (2001) comme particulièrement actif lors des états de repos et impliqué dans les processus auto-référentiels, l'introspection et la génération spontanée de pensées. La pratique méditative est associée à une diminution de l'activité du DMN ainsi qu'à une modification de sa connectivité fonctionnelle, notamment avec des régions impliquées dans le contrôle attentionnel (Brewer et al., 2011). Ainsi, la modulation du DMN pourrait constituer un mécanisme neurocognitif central sous-tendant la diminution du vagabondage mental et, par conséquent, avoir un impact sur le niveau d'anxiété observé à la suite de la pratique méditative.

Puis, les résultats de l'étude n'indiquent aucune amélioration de la performance à la tâche FRT après la séance de méditation, dans les deux conditions. Ces observations vont à l'encontre des résultats d'études précédentes montrant que la méditation de pleine conscience améliore les capacités attentionnelles et le contrôle exécutif (Basso et al., 2018 ; Guo et al., 2025). De plus, aucun effet préférentiel du type de récompense sur la performance n'a été observé, contrairement aux résultats de la méta-analyse de Wang et al. (2024), qui rapportaient des effets bénéfiques plus larges pour des récompenses sociales que monétaires. Toutefois, cette divergence avec la méta-analyse pourrait s'expliquer par le fait que la récompense n'influence pas directement la performance en tant que telle, mais qu'elle pourrait agir sur l'investissement d'effort cognitif. En effet, les résultats physiologiques de l'étude de Fairclough et al. (2018) suggèrent que l'incitation motivationnelle module l'investissement d'effort principalement lorsque la tâche devient cognitivement exigeante, alors qu'aucun effet de la récompense n'est observé aux faibles niveaux de charge, où l'effort requis est minimal. Ainsi, dans notre étude, étant donné que nous avons retenu la version la plus simple de la tâche FRT (trois points à mémoriser au lieu de sept), il est possible que l'absence d'effets de la méditation et du type de récompense s'expliquent par une demande cognitive d'intensité insuffisante. Il serait donc pertinent d'examiner cette question à l'aide d'une tâche plus exigeante sur le plan cognitif afin de

déterminer si un effet de la récompense pourrait alors émerger. Un point important reste à préciser, l'absence d'effet de la méditation sur la performance à la FRT ne permet pas de conclure que la pleine conscience est sans effet sur les processus cognitifs et motivationnels. Elle reflète davantage une convergence de contraintes méthodologiques — tâche trop simple, séance trop brève, population sans déficit, outil partiellement inadapté au construit mesuré — qui pourraient avoir conjointement réduit la sensibilité du protocole à détecter un effet potentiel. Ces résultats invitent donc moins à invalider l'hypothèse d'un effet de la méditation sur la cognition qu'à affiner les conditions dans lesquelles cet effet pourrait être mis en évidence : une version plus exigeante de la FRT, un programme de méditation répété sur plusieurs semaines, et une population présentant une vulnérabilité cognitive ou motivationnelle constitueraient des pistes prioritaires pour les recherches futures.

Il convient de noter que H3 repose sur une chaîne inférentielle en plusieurs étapes qui mérite d'être explicitée. En effet, le lien entre méditation en réalité virtuelle et amélioration de la performance à la FRT n'est pas direct, mais suppose l'articulation de plusieurs mécanismes intermédiaires. Premièrement, la méditation de pleine conscience est supposée améliorer le contrôle attentionnel et réduire le coût cognitif des distractions, libérant ainsi des ressources pour les processus exécutifs (Tang et al., 2015). Deuxièmement, la RV, par son caractère immersif, est supposée renforcer l'engagement attentionnel et la présence subjective durant la séance, potentialisant ainsi les effets de la méditation sur ces mêmes ressources cognitives (Datta et al., 2024). Troisièmement, ces ressources cognitives libérées sont supposées se traduire par une meilleure réactivité aux signaux de récompense et donc par une performance accrue à la FRT. Cette chaîne causale, bien que théoriquement cohérente, reste largement spéculative dans le contexte d'une séance unique et d'une tâche de difficulté faible. H3 doit donc être envisagée comme une hypothèse exploratoire dont la confirmation nécessiterait des conditions expérimentales plus sensibles, notamment une version plus exigeante de la FRT et un programme de méditation répété sur plusieurs séances.

De plus, l'absence de différence entre la méditation en réalité virtuelle et la méditation audioguidée dans cette étude ne permet pas de conclure à un avantage spécifique de l'immersion virtuelle sur la performance cognitive. Si la réalité virtuelle est souvent présentée comme un outil susceptible d'augmenter l'engagement et la présence subjective (Cummings & Bailenson, 2015), et que certains travaux suggèrent qu'une immersion accrue pourrait renforcer la motivation et l'engagement cognitif (Datta et al., 2024), les résultats de la présente étude indiquent que ces bénéfices potentiels ne se traduisent pas nécessairement par une amélioration comportementale mesurable dans ce type de tâche. Plusieurs explications peuvent être

avancées. D'une part, le sentiment de présence et d'immersion propre à la RV, bien que potentiellement bénéfique pour l'expérience méditative subjective, ne constitue pas en soi un mécanisme suffisant pour amplifier les effets cognitifs de la pleine conscience, lesquels semblent davantage dépendre de la régularité et de la durée de la pratique que de son support technologique. D'autre part, il est possible que l'effet immersif de la RV ait été partiellement neutralisé par les symptômes de cybersickness rapportés par certains participant·e·s, tels que maux de tête, nausées, vertiges, qui constituent une source de perturbation physiologique et attentionnelle susceptible de contrecarrer les bénéfices cognitifs attendus. Ainsi, loin de disqualifier la RV comme outil d'accompagnement de la méditation, ces résultats invitent à préciser les conditions dans lesquelles son potentiel peut effectivement se traduire en gains comportementaux mesurables, notamment en termes de durée d'exposition, de qualité du dispositif et de profil des utilisateur·ice·s.

Limites

Cette étude visait à déterminer si une séance de méditation immersive en réalité virtuelle (RV) engendre des effets psychologiques et cognitifs différents de ceux observés avec une méditation guidée uniquement par audio. Toutefois, elle comporte plusieurs limites.

Premièrement, les effets mis en évidence doivent être interprétés avec prudence en raison de l'absence de groupe contrôle. En effet, les deux groupes expérimentaux (RV vs audioguidée) participaient à une séance de méditation. Il est donc impossible de déterminer si les effets observés sont attribuables au simple fait de méditer ou spécifiquement au type de dispositif utilisé. L'étude ne permet pas d'isoler l'effet propre de la méditation elle-même. Ainsi, des recherches futures pourraient intégrer une condition contrôle supplémentaire, par exemple un groupe exposé à une activité neutre telle que la lecture d'un article informatif sur la méditation, conformément au protocole expérimental mis en œuvre par Gentile et Kim (2024). Par ailleurs, la composition de l'échantillon en termes de genre constitue une limite à la généralisation des résultats. Avec une majorité de femmes (74,5 %), l'échantillon ne reflète pas la distribution de genre de la population générale. Or, des différences liées au genre ont été documentées dans la littérature concernant plusieurs des variables étudiées, notamment la réactivité émotionnelle, la sensibilité à l'anxiété et la réponse aux interventions basées sur la pleine conscience (Chaplin, 2015 ; Greeson et al., 2021), ainsi que la familiarité et le confort avec les technologies immersives telles que la réalité virtuelle (Cummings & Bailenson, 2015). Il est donc possible que les effets observés dans la présente étude reflètent en partie des patterns propres à un échantillon majoritairement féminin, et que des résultats différents soient obtenus dans un échantillon plus équilibré ou composé majoritairement d'hommes. Des recherches futures devraient veiller à

recruter des échantillons plus représentatifs de la diversité de genre afin d'évaluer dans quelle mesure les bénéfices de la méditation, qu'elle soit en réalité virtuelle ou audioguidée, sont généralisables à l'ensemble de la population.

Deuxièmement, la langue utilisée lors de la séance de méditation, dans les deux conditions expérimentales, était l'anglais. Or, les données issues du questionnaire sociodémographique indiquent que certain·e·s participant·e·s présentaient un niveau de compétence débutant ou intermédiaire dans cette langue. Cette limitation pourrait avoir entravé la compréhension optimale et, par conséquent, réduit la capacité de ces participant·e·s à bénéficier pleinement des instructions audioguidées de pleine conscience.

Troisièmement, plusieurs variables contextuelles susceptibles d'avoir influencé l'expérience des participant·e·s n'ont pas pu être entièrement contrôlées. Notamment, des nuisances sonores liées à des travaux réalisés dans une salle adjacente au laboratoire ont pu perturber les conditions expérimentales et altérer la qualité de l'immersion ou de la concentration pendant la passation de l'expérience. Ces éléments constituent des sources potentielles de variance non contrôlée. Par ailleurs, certain·e·s participant·e·s assigné·e·s à la condition de réalité virtuelle ont rapporté des symptômes de cybersickness, tels que des maux de tête, des nausées ou des sensations de vertige. Ces effets indésirables, fréquemment associés à l'utilisation de dispositifs immersifs (Merhi et al., 2007), ont pu compromettre la qualité de l'expérience méditative et, par conséquent, influencer négativement les indicateurs de bien-être mesurés après l'intervention. Ainsi, l'inconfort physiologique lié à l'usage de la réalité virtuelle constitue un facteur susceptible d'avoir modéré les effets observés.

Ensuite, l'intervention méditative reposait sur une unique séance et d'une durée de dix minutes. Une telle brièveté pourrait ne pas avoir été suffisante pour permettre l'émergence d'effets significatifs et durables.

Puis, concernant l'analyse de modération, l'évaluation du rôle modérateur de la familiarité avec la RV dans l'association entre la variabilité de la fréquence cardiaque et l'anxiété d'état n'a pu être réalisée que sur un sous-échantillon plus faible. Ainsi, la puissance statistique était plus limitée, ce qui peut avoir diminué la sensibilité de l'analyse à détecter un effet de modération. Ces résultats doivent donc être interprétés avec prudence et gagneraient à être répliqués sur un échantillon plus large, afin de confirmer la robustesse des associations.

En outre, la tâche de récompense utilisée dans le protocole pourrait avoir été insuffisamment exigeante sur le plan cognitif. Une complexité trop faible de la tâche est susceptible d'avoir limité sa sensibilité à détecter d'éventuelles variations interindividuelles ou interconditions, et ainsi

d'avoir contribué à une sous-estimation des effets réels. En d'autres termes, un effet plafond ne peut être exclu. Dans cette perspective, il serait pertinent que de futures recherches mobilisent une version plus exigeante de la FRT, par exemple en augmentant le nombre de symboles à mémoriser (sept au lieu de trois), afin d'accroître la charge cognitive et la capacité discriminante de la mesure. Une telle adaptation permettrait d'évaluer plus finement l'impact de l'intervention sur les processus motivationnels et attentionnels.

Enfin, il convient de souligner que la Fribourg Reward Task (FRT) a été principalement développée pour investiguer les processus de traitement de la récompense, en particulier les réponses motivationnelles et affectives associées aux gains monétaires et leurs liens avec l'humeur, plutôt que pour évaluer de manière spécifique les fonctions cognitives telles que la performance ou les capacités mnésiques (Martin-Soelch et al., 2009 ; Tandon et al., 2022). Dans ce cadre, les indicateurs comportementaux extraits de la tâche (précision : taux de réponse correcte) doivent être interprétés avant tout comme des marqueurs indirects du fonctionnement du système de récompense, et non comme des mesures pures de l'efficacité cognitive. Cette distinction conceptuelle est importante, car elle suggère que l'absence d'effets observés sur la performance dans la présente étude pourrait refléter une inadéquation partielle entre l'outil expérimental et le construit ciblé. En d'autres termes, la FRT pourrait ne pas être suffisamment spécifique ni sensible pour capter des variations fines des processus cognitifs indépendamment des mécanismes motivationnels qui la sous-tendent.

Implications pour la pratique

Bien que les limites mentionnées ci-dessus invitent à une interprétation prudente des résultats, elles permettent également d'identifier plusieurs pistes de recherche susceptibles d'approfondir la compréhension des effets observés. Une première perspective future consisterait à examiner les effets d'un programme de méditation répété sur plusieurs semaines afin d'évaluer si les bénéfices observés après une séance unique se maintiennent, s'amplifient ou s'atténuent au fil du temps. Une approche longitudinale permettrait également de déterminer si la méditation en réalité virtuelle favorise une meilleure adhésion et un engagement plus durable comparativement à un format audioguidé classique. De plus, la présente étude s'est appuyée sur une population non clinique. Il serait dès lors pertinent d'examiner si les effets observés se reproduisent au sein d'une population clinique présentant des troubles anxieux ou des difficultés de régulation émotionnelle, afin d'évaluer plus précisément le potentiel thérapeutique de la méditation selon la modalité utilisée. Les recherches futures pourraient également examiner plusieurs variables modératrices susceptibles d'influencer les effets observés, telles que la motivation des participant·e·s ou leurs attentes envers la pratique méditative. Ainsi, il serait possible de mieux

comprendre dans quelles conditions et pour quels profils de personnes la méditation produit ses effets les plus bénéfiques.

En complément des pistes de recherche évoquées, ces résultats soulèvent également des implications pertinentes pour la pratique clinique. En effet, ils suggèrent que l'intégration de séances de méditation, en réalité virtuelle ou en audioguide, pourrait constituer une intervention complémentaire innovante visant à favoriser la régulation émotionnelle, notamment auprès de patient·e·s présentant des difficultés d'engagement dans les approches thérapeutiques traditionnelles. Puis, il serait intéressant de réaliser des programmes de prévention et de psychoéducation intégrant des interventions de méditation de pleine conscience, notamment sous la forme de réalité virtuelle ou en audioguide. En milieu scolaire, des ateliers structurés pourraient favoriser l'apprentissage précoce de stratégies adaptatives de régulation émotionnelle, contribuant à réduire l'anxiété et les difficultés comportementales. En contexte organisationnel, l'implantation de programmes de pleine conscience pourrait constituer une stratégie pertinente de prévention du burnout en améliorant la gestion du stress et en aidant à développer la flexibilité émotionnelle. Enfin, le développement d'outils numériques d'autorégulation émotionnelle permettrait de soutenir une pratique autonome.

Par ailleurs, le protocole expérimental intégrait des mesures physiologiques complémentaires, à savoir l'activité électrodermale (EDA) et l'activité cérébrale par électroencéphalogramme (EEG). L'inclusion de ces indices s'inscrit dans une démarche méthodologique multimodale visant à appréhender la régulation émotionnelle à différents niveaux d'analyse, en articulation avec les mesures subjectives et comportementales recueillies. Dans le cadre de ce mémoire, le choix a été fait de circonscrire les analyses à ces dernières, afin de répondre de manière ciblée aux objectifs de recherche définis. La présence de ces données physiologiques constitue néanmoins un atout du protocole, ouvrant la voie à des prolongements empiriques pour explorer plus finement les mécanismes psychophysiologiques et neurocognitifs sous-jacents aux effets observés. En particulier, l'analyse des oscillations cérébrales associées aux états méditatifs, telles que les bandes de fréquences alpha et thêta, fréquemment associées à la relaxation et au contrôle attentionnel (Fox et al., 2016), offrirait une opportunité de compléter et d'objectiver les résultats subjectifs et comportementaux obtenus dans cette étude, et d'enrichir la compréhension des mécanismes neurobiologiques sous-tendant les effets de la pleine conscience selon le support utilisé. Dès lors, ces mesures s'inscrivent dans une perspective de recherche plus large visant une compréhension intégrative des mécanismes de régulation émotionnelle induits par la pleine conscience.

Conclusion

Ce présent travail avait pour objectif d'examiner si l'intégration de la réalité virtuelle dans une pratique de méditation de pleine conscience pouvait constituer un apport spécifique par rapport à une méditation audioguidée classique, notamment en termes de régulation émotionnelle, d'anxiété et de performance dans une tâche de récompense. Dans un contexte marqué par l'essor des technologies immersives en santé mentale et par la nécessité de développer des interventions accessibles et engageantes, la question centrale portait sur la valeur ajoutée potentielle du support technologique : la réalité virtuelle permet-elle d'optimiser les effets émotionnels, psychophysiologiques et cognitifs de la méditation ? Les résultats obtenus invitent à une réponse nuancée.

D'une part, la pratique méditative, indépendamment du format, s'est associée à une diminution significative des affects négatifs et du niveau d'anxiété d'état. Ces effets, observés après une séance unique et brève, confirment que la pleine conscience peut induire des modifications mesurables à court terme, tant sur le plan de la régulation émotionnelle que sur le degré d'anxiété. D'autre part, aucune supériorité de la réalité virtuelle n'a été mise en évidence par rapport à la modalité audioguidée. Les deux formats semblent mobiliser des mécanismes similaires et produire des effets comparables dans les conditions expérimentales retenues.

Ainsi, les effets bénéfiques observés relèveraient plus de la pratique de la pleine conscience elle-même que du dispositif avec ou sans support technologique utilisé. La réalité virtuelle apparaît comme une modalité pertinente, faisable et acceptable, mais non supérieure, dans le cadre d'une séance unique chez une population non clinique.

Cette étude contribue à l'état des connaissances en proposant une comparaison méthodologiquement structurée entre deux modalités de méditation, en combinant des mesures subjectives, physiologiques et comportementales. Elle apporte également des données empiriques sur le rôle potentiel, ici non confirmé, de la familiarité technologique comme variable modératrice. En ce sens, elle participe à une évaluation critique des bénéfices associées aux technologies immersives en psychologie clinique, en distinguant l'innovation technologique de l'efficacité clinique démontrée.

Plus largement, ces résultats invitent à déplacer la question d'une éventuelle «supériorité» technologique vers celle de la pertinence contextuelle. Il est possible que la réalité virtuelle ne renforce pas nécessairement l'efficacité immédiate d'une séance de méditation, mais qu'elle joue un rôle dans d'autres dimensions telles que l'adhésion, l'engagement, la motivation à long terme ou l'accessibilité à certaines populations. Des études longitudinales, intégrant des indicateurs de

maintien de la pratique et d'acceptabilité, permettraient d'évaluer cette hypothèse. L'exploration de populations cliniques présentant des troubles anxieux, une dysrégulation émotionnelle ou des difficultés attentionnelles pourrait également y révéler des bénéfices différenciés.

En conclusion, ce travail suggère que la méditation de pleine conscience améliore la régulation des émotions et le niveau d'anxiété d'état. De plus, la réalité virtuelle, plutôt qu'un substitut supérieur aux formats traditionnels, pourrait constituer un outil complémentaire dont l'intérêt dépendrait des profils individuels, des objectifs thérapeutiques et des contextes d'application. L'enjeu futur réside ainsi dans l'identification des conditions optimales d'intégration des technologies immersives au service d'interventions psychologiques.

Déclarations

Remerciements : Ce travail n'aurait pas pu être mené à bien sans l'aide et l'implication de nombreuses personnes, auxquelles je souhaite adresser ici mes sincères remerciements.

Je remercie en premier lieu les personnes ayant pris part à cette étude. Leur engagement, leur intérêt pour le projet et le temps qu'elles ont accepté d'y consacrer ont constitué un élément central de sa réalisation.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance à ma superviseuse de travail de master, Madame Cherine Fahim Fahmy, dont le soutien constant, l'écoute attentive et les recommandations ont largement contribué à orienter et à enrichir cette recherche. Je remercie également Madame Chantal Martin-Sölch pour ses précieux conseils, outils et connaissances transmis lors des séances de colloques de master. Mes remerciements s'adressent également à Michael Papinutto pour la rigueur avec laquelle il a assuré le traitement et le nettoyage des données de l'étude.

Un grand merci également aux deux étudiantes en bachelor, Lisa Aziz et Milena Broillet, qui ont initié cette étude. Avec le soutien des stagiaires Laura Chiappini, Antonella Tallarico, Célia Caduff et Jade Vouilloz, elles ont permis la réalisation des premières passations. De plus, je remercie chaleureusement mes deux camarades de master, Annalisa Massa Boccia et Karin Rauso, pour leur accompagnement lors des passations suivantes, ainsi que pour leurs conseils avisés et leur soutien tout au long de la réalisation de ce travail de master. Leur sympathie, leur disponibilité et leur engagement ont grandement contribué au bon déroulement de ce projet.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude aux personnes de mon entourage, famille et ami-e-s, qui m'ont soutenue, remonté le moral et tenu les pouces tout au long de la réalisation de ce travail de master.

Références

- Aldao, A., Nolen-Hoeksema, S., & Schweizer, S. (2010). Emotion-regulation strategies across psychopathology: A meta-analytic review. *Clinical psychology review*, 30(2), 217–237. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2009.11.004>
- Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2006). Heart Rate Variability as an Index of Regulated Emotional Responding. *Review Of General Psychology*, 10(3), 229-240. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.10.3.229>
- Arch, J. J., & Craske, M. G. (2006). Mechanisms of mindfulness: emotion regulation following a focused breathing induction. *Behaviour research and therapy*, 44(12), 1849–1858. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2005.12.007>
- Arias-Carrión, O., Stamelou, M., Murillo-Rodríguez, E., Menéndez-González, M., & Pöppel, E. (2010). Dopaminergic reward system : a short integrative review. *International Archives Of Medicine*, 3(1), 24. <https://doi.org/10.1186/1755-7682-3-24>
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 829-839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*, 63, 1-29 . <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>.
- Basso, J. C., McHale, A., Ende, V., Oberlin, D. J., & Suzuki, W. A. (2018). Brief, daily meditation enhances attention, memory, mood, and emotional regulation in nonexperienced meditators. *Behavioural Brain Research*, 356, 208-220. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2018.08.023>
- Bell, I. H., Nicholas, J., Alvarez-Jimenez, M., Thompson, A., & Valmaggia, L. (2020). Virtual reality as a clinical tool in mental health research and practice. *Dialogues In Clinical Neuroscience*, 22(2), 169-177. <https://doi.org/10.31887/dcns.2020.22.2/lvalmaggia>
- Berridge, K. C., & Robinson, T. E. (1998). What is the role of dopamine in reward : hedonic impact, reward learning, or incentive salience ? *Brain Research Reviews*, 28(3),

309-369. [https://doi.org/10.1016/s0165-0173\(98\)00019-8](https://doi.org/10.1016/s0165-0173(98)00019-8)

- Bin, S., Alrashdi, D. H., Whitehead, T., Riches, S., & Drini, E. (2025). Mental Health Professionals' Attitudes towards Virtual Reality therapies : A Systematic review. *Journal Of Technology In Behavioral Science*. <https://doi.org/10.1007/s41347-025-00499-x>
- Bishop, S. R., Lau, M., Shapiro, S., Carlson, L., Anderson, N. D., Carmody, J., Segal, Z. V., Abbey, S., Speca, M., Velting, D., & Devins, G. (2004). Mindfulness : A proposed operational definition. *Clinical Psychology Science And Practice*, 11(3), 230-241. <https://doi.org/10.1093/clipsy.bph077>
- Bogdan, R., & Pizzagalli, D. A. (2006). Acute stress reduces reward responsiveness: implications for depression. *Biological psychiatry*, 60(10), 1147–1154. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.037>
- Bondolfi, G., & Stiefel, F. (2023). La méditation de pleine conscience (mindfulness) a-t-elle une place en médecine ? *Revue Médicale Suisse*, 19(814), 307-309. <https://doi.org/10.53738/revmed.2023.19.814.307>
- Bonner, S. E., & Sprinkle, G. B. (2002). The effects of monetary incentives on effort and task performance : theories, evidence, and a framework for research. *Accounting Organizations And Society*, 27(4-5), 303-345. [https://doi.org/10.1016/s0361-3682\(01\)00052-6](https://doi.org/10.1016/s0361-3682(01)00052-6)
- Bortolla, R., Galli, M., Spada, G. E., & Maffei, C. (2021). Mindfulness Effects on Mind Wandering and Autonomic Balance. *Applied Psychophysiology And Biofeedback*, 47(1), 53-64. <https://doi.org/10.1007/s10484-021-09527-x>
- Brewer, J. A., Worhunsky, P. D., Gray, J. R., Tang, Y., Weber, J., & Kober, H. (2011). Meditation experience is associated with differences in default mode network activity and connectivity. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 108(50), 20254-20259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1112029108>
- Brown, K. W., & Ryan, R. M. (2003). The benefits of being present : Mindfulness and its role in psychological well-being. *Journal Of Personality And Social Psychology*, 84(4),

822-848. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.84.4.822>

- Carl, E., Stein, A. T., Levihn-Coon, A., Pogue, J. R., Rothbaum, B., Emmelkamp, P., Asmundson, G. J., Carlbring, P., & Powers, M. B. (2018). Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders : A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal Of Anxiety Disorders*, 61, 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2018.08.003>
- Castro, J. F., Yamada, G., Contreras, H., Linares, F., & Watson, H. (2021). Tracking the pressure : The effect of monetary incentives on effort, emotions, and performance. *Journal Of Neuroscience Psychology And Economics*, 14(4), 234-258. <https://doi.org/10.1037/npe0000148>
- Ciccone, A. B., Siedlik, J. A., Wecht, J. M., Deckert, J. A., Nguyen, N. D., & Weir, J. P. (2017). Reminder : RMSSD and SD1 are identical heart rate variability metrics. *Muscle & Nerve*, 56(4), 674-678. <https://doi.org/10.1002/mus.25573>
- Cieślak, B., Mazurek, J., Rutkowski, S., Kiper, P., Turolla, A., & Szczepańska-Gieracha, J. (2020). Virtual reality in psychiatric disorders : A systematic review of reviews. *Complementary Therapies In Medicine*, 52, 102480. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2020.102480>
- Chalmers, J. A., Quintana, D. S., Abbott, M. J., & Kemp, A. H. (2014). Anxiety Disorders are Associated with Reduced Heart Rate Variability : A Meta-Analysis. *Frontiers In Psychiatry*, 5, 80. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2014.00080>
- Chambers, R., Lo, B. C. Y., & Allen, N. B. (2007). The Impact of Intensive Mindfulness Training on Attentional Control, Cognitive Style, and Affect. *Cognitive Therapy And Research*, 32(3), 303-322. <https://doi.org/10.1007/s10608-007-9119-0>
- Chaplin, T. M. (2015). Gender and emotion expression: A developmental contextual perspective. *Emotion Review*, 7(1), 14–21. <https://doi.org/10.1177/1754073914544408>
- Chiesa, A., Calati, R., & Serretti, A. (2011). Does mindfulness training improve cognitive abilities? A systematic review of neuropsychological findings. *Clinical psychology review*, 31(3), 449–464. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2010.11.003>

- Cools, R., & D'Esposito, M. (2011). Inverted-U–Shaped Dopamine Actions on Human Working Memory and Cognitive Control. *Biological Psychiatry*, 69(12), e113–e125. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2011.03.028>
- Cowan, N. (2016). The many faces of working memory and short-term storage. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24, 1158 - 1170. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1191-6>
- Cummings, J. J., & Bailenson, J. N. (2015). How Immersive Is Enough ? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence. *Media Psychology*, 19(2), 272-309. <https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740>
- 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. *MethodsX*, 12, 102748. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102748>
- Davidson, R. J., Kabat-Zinn, J., Schumacher, J., Rosenkranz, M., Muller, D., Santorelli, S. F., Urbanowski, F., Harrington, A., Bonus, K., & Sheridan, J. F. (2003). Alterations in brain and immune function produced by mindfulness meditation. *Psychosomatic medicine*, 65(4), 564–570. <https://doi.org/10.1097/01.psy.0000077505.67574.e3>
- Depue, R. A., & Collins, P. F. (1999). Neurobiology of the structure of personality: dopamine, facilitation of incentive motivation, and extraversion. *The Behavioral and brain sciences*, 22(3), 491–569. <https://doi.org/10.1017/s0140525x99002046>
- Desbordes, G., Gard, T., Hoge, E. A., Hölzel, B. K., Kerr, C., Lazar, S. W., Olendzki, A., & Vago, D. R. (2014). Moving Beyond Mindfulness : Defining Equanimity as an Outcome Measure in Meditation and Contemplative Research. *Mindfulness*, 6(2), 356-372. <https://doi.org/10.1007/s12671-013-0269-8>
- Diehl, M., Hay, E. L., & Berg, K. M. (2011). The ratio between positive and negative affect and flourishing mental health across adulthood. *Aging & Mental Health*, 15(7), 882-893. <https://doi.org/10.1080/13607863.2011.569488>
- Emmelkamp, P. M., & Meyerbröker, K. (2021). Virtual Reality Therapy in Mental Health. *Annual Review Of Clinical Psychology*, 17(1), 495-519. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-081219-115923>

- Emotiv. (2025). FLEX 2 Saline – 32 Channel Wireless EEG Head Cap System.
EMOTIV. <https://www.emotiv.com/products/flex-saline>
- Engelmann, J. B., & Pessoa, L. (2007). Motivation sharpens exogenous spatial attention. *Emotion*, 7(3), 668-674. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.3.668>
- Ercegović, M. D. (2025). The Impact of Financial and Non-Financial Rewarding System on Employee Motivation and Productivity : Balancing Incentives in Modern Workplaces. *Global Journal Of Management And Business Research*, 5-11. <https://doi.org/10.34257/gjmbavol24is5pg5>
- 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. <https://doi.org/10.3390/healthcare10071220>
- Fairclough, S. H., Burns, C., & Kreplin, U. (2018). FNIRS activity in the prefrontal cortex and motivational intensity : impact of working memory load, financial reward, and correlation-based signal improvement. *Neurophotonics*, 5(03), 1. <https://doi.org/10.1117/1.nph.5.3.035001>
- Fischer, C., Malycha, C., & Schafmann, E. (2019). The Influence of Intrinsic Motivation and Synergistic Extrinsic Motivators on Creativity and Innovation. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00137>
- Fredrickson B. L. (2001). The role of positive emotions in positive psychology. The broadenand-build theory of positive emotions. *The American psychologist*, 56(3), 218–226. <https://doi.org/10.1037//0003-066x.56.3.218>
- Fredrickson, B. L., Cohn, M. A., Coffey, K. A., Pek, J., & Finkel, S. M. (2008). Open hearts build lives: positive emotions, induced through loving-kindness meditation, build consequential personal resources. *Journal of personality and social psychology*, 95(5), 1045–1062. <https://doi.org/10.1037/a0013262>
- 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>
- Fox, K. C., Dixon, M. L., Nijeboer, S., Girn, M., Floman, J. L., Lifshitz, M., Ellamil, M., Sedlmeier, P., & Christoff, K. (2016). Functional neuroanatomy of meditation : A review and meta-analysis of 78 functional neuroimaging investigations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 65, 208-228. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.03.021>
- Garland, E. L., Gaylord, S. A., & Fredrickson, B. L. (2011). Positive Reappraisal Mediates the Stress-Reductive Effects of Mindfulness : An Upward Spiral Process. *Mindfulness*, 2(1), 59-67. <https://doi.org/10.1007/s12671-011-0043-8>
- Gentile, D. A., & Kim, E. (2024). Comparing Virtual Reality, Video, and Audio-Guided Meditations in Fostering Positive Attitudes toward Meditation. *Mindfulness*, 15(3), 586-600. <https://doi.org/10.1007/s12671-024-02311-y>
- Gilchrist, A. L., & Cowan, N. (2014). A two-stage search of visual working memory : investigating speed in the change-detection paradigm. *Attention Perception & Psychophysics*, 76(7), 2031-2050. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0704-5>
- Greeson, J. M., Smoski, M. J., Suarez, E. C., Brantley, J. G., Ekblad, A. G., Lynch, T. R., & Wolever, R. Q. (2021). Do gender, anxiety, or sleep quality predict mindfulness-based stress reduction outcomes? *Frontiers in Psychology*, 11, 586815. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.586815>
- Gross, J. J. (1998). The Emerging Field of Emotion Regulation : An Integrative Review. *Review Of General Psychology*, 2(3), 271-299. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.2.3.271>
- Gross, J. J. (2015). Emotion Regulation : Current Status and Future Prospects. *Psychological Inquiry*, 26(1), 1-26. <https://doi.org/10.1080/1047840x.2014.940781>
- Gross, J. J., & Jazaieri, H. (2014). Emotion, Emotion Regulation, and

Psychopathology. *Clinical Psychological Science*, 2(4),
387-401. <https://doi.org/10.1177/2167702614536164>

Gu, J., Strauss, C., Bond, R., & Cavanagh, K. (2015). How do mindfulness-based cognitive therapy and mindfulness-based stress reduction improve mental health and wellbeing ?

A systematic review and meta-analysis of mediation studies. *Clinical Psychology Review*, 37, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2015.01.006>

Guo, J., Zhou, X., Zhou, H., Huang, C., Wu, Y., Zheng, H., Liu, Y., & Jiang, C. (2025). Enhancing shooting performance and cognitive engagement in virtual reality environments through brief meditation training. *Scientific Reports*, 15(1), 16289. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-01462-9>

Haber, S. N., & Knutson, B. (2009). The Reward Circuit : Linking Primate Anatomy and Human Imaging. *Neuropsychopharmacology*, 35(1), 4-26. <https://doi.org/10.1038/npp.2009.129>

Hargus, E., Crane, C., Barnhofer, T., & Williams, J. M. G. (2010). Effects of mindfulness on meta-awareness and specificity of describing prodromal symptoms in suicidal depression. *Emotion*, 10(1), 34-42. <https://doi.org/10.1037/a0016825>

Hölzel, B. K., Carmody, J., Evans, K. C., Hoge, E. A., Dusek, J. A., Morgan, L., Pitman, R. K., & Lazar, S. W. (2010). Stress reduction correlates with structural changes in the amygdala. *Social cognitive and affective neuroscience*, 5(1), 11–17.
<https://doi.org/10.1093/scan/nsp034>

Hölzel, B. K., Ott, U., Hempel, H., Hackl, A., Wolf, K., Stark, R., & Vaitl, D. (2007). Differential engagement of anterior cingulate and adjacent medial frontal cortex in adept meditators and non-meditators. *Neuroscience letters*, 421(1), 16–21.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.04.074>

Izuma, K., Saito, D. N., & Sadato, N. (2008). Processing of social and monetary rewards in the human striatum. *Neuron*, 58(2), 284–294.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.03.020>

- Kabat-Zinn, J. (2003). Mindfulness-based interventions in context : Past, present, and future. *Clinical Psychology Science And Practice*, 10(2), 144-156. <https://doi.org/10.1093/clipsy.bpg016>
- Kalebasi, N., Kuelen, E., Schnyder, U., Schumacher, S., Mueller-Pfeiffer, C., Wilhelm, F. H., Athilingam, J., Moergeli, H., & Martin-Soelch, C. (2015). Blunted responses to reward in remitted post-traumatic stress disorder. *Brain And Behavior*, 5(8), e00357. <https://doi.org/10.1002/brb3.357>
- Kaplan-Rakowski, R., Johnson, K. R., & Wojdynski, T. (2021). The impact of virtual reality meditation on college students' exam performance. *Smart learning environments*, 8(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40561-021-00166-7>
- Kashdan, T. B., & Rottenberg, J. (2010). Psychological flexibility as a fundamental aspect of health. *Clinical psychology review*, 30(7), 865–878. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2010.03.001>
- 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>
- Kiltner, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The Sense of Embodiment in Virtual Reality. *PRESENCE Virtual And Augmented Reality*, 21(4), 373-387. https://doi.org/10.1162/pres_a_00124
- Kim, H. G., Cheon, E. J., Bai, D. S., Lee, Y. H., & Koo, B. H. (2018). Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry investigation*, 15(3), 235–245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>
- Kim, S. H., Yoon, H., Kim, H., & Hamann, S. (2015). Individual differences in sensitivity to reward and punishment and neural activity during reward and avoidance learning. *Social cognitive and affective neuroscience*, 10(9), 1219–1227. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv007>
- Kim, K., Lee, S., & Kim, J. (2016). Diminished autonomic neurocardiac function in patients with generalized anxiety disorder. *Neuropsychiatric Disease And Treatment, Volume 12*, 3111-3118. <https://doi.org/10.2147/ndt.s121533>

- Knutson, B., Adams, C. M., Fong, G. W., & Hommer, D. (2001). Anticipation of Increasing Monetary Reward Selectively Recruits Nucleus Accumbens. *Journal Of Neuroscience*, 21(16), RC159. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.21-16-j0002.2001>
- Kohn, N., Eickhoff, S., Scheller, M., Laird, A., Fox, P., & Habel, U. (2013). Neural network of cognitive emotion regulation — An ALE meta-analysis and MACM analysis. *NeuroImage*, 87, 345-355. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.11.001>
- Kothgassner, O. D., Goreis, A., Kafka, J. X., Van Eickels, R. L., Plener, P. L., & Felnhöfer, A. (2019). Virtual reality exposure therapy for posttraumatic stress disorder (PTSD) : a meta-analysis. *European Journal Of Psychotraumatology*, 10(1), 1654782. <https://doi.org/10.1080/20008198.2019.1654782>
- Kuss, O., Schumann, B., Kluttig, A., Greiser, K. H., & Haerting, J. (2008). Time domain parameters can be estimated with less statistical error than frequency domain parameters in the analysis of heart rate variability. *Journal Of Electrocardiology*, 41(4), 287-291. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2008.02.014>
- 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*, 08, 213. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
- Lehikko, A., Nykänen, M., & Ruokamo, H. (2025). Previous VR experience increases embodiment in immersive VR safety training : an exploratory mixed-methods study. *Virtual Reality*, 29(3). <https://doi.org/10.1007/s10055-025-01196-z>
- Lewis, R. G., Florio, E., Punzo, D., & Borrelli, E. (2021). The Brain's Reward System in Health and Disease. *Advances In Experimental Medicine And Biology*, 1344, 57-69. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81147-1_4
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279–281. <https://doi.org/10.1038/36846>
- 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>

-
- Malek, S. L., Sarin, S., & Haon, C. (2020). Extrinsic Rewards, Intrinsic Motivation, and New Product Development Performance. *Journal Of Product Innovation Management*, 37(6), 528-551. <https://doi.org/10.1111/jpim.12554>
- Martin-Soelch, C., Kobel, M., Stoecklin, M., Michael, T., Weber, S., Krebs, B., & Opwis, K. (2009). Reduced Response to Reward in Smokers and Cannabis Users. *Neuropsychobiology*, 60(2), 94-103. <https://doi.org/10.1159/000239685>
- Mathy, F., & Feldman, J. (2011). What's magic about magic numbers ? Chunking and data compression in short-term memory. *Cognition*, 122(3), 346-362. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.11.003>
- Merhi, O., Faugloire, E., Flanagan, M., & Stoffregen, T. A. (2007). Motion sickness, console video games, and head-mounted displays. *Human factors*, 49(5), 920–934. <https://doi.org/10.1518/001872007X230262>
- Miller G. A. (1956). The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81–97
- 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, 103866. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2021.103866>
- Moore, A., & Malinowski, P. (2009). Meditation, mindfulness and cognitive flexibility. *Consciousness and cognition*, 18(1), 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.12.008>
- Movisens. EdaMove 4. 2020. Available online : <https://docs.movisens.com/Sensors/EdaMove4/#troubleshooting>
- Movisens. EcgMove 4. 2020. Available online : <https://docs.movisens.com/Sensors/EcgMove4/#welcome>
- Mrazek, M. D., Franklin, M. S., Phillips, D. T., Baird, B., & Schooler, J. W. (2013). Mindfulness Training Improves Working Memory Capacity and GRE Performance

- While Reducing Mind Wandering. *Psychological Science*, 24(5), 776-781. <https://doi.org/10.1177/0956797612459659>
- Murayama, K., Matsumoto, M., Izuma, K., & Matsumoto, K. (2010). Neural basis of the undermining effect of monetary reward on intrinsic motivation. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 107(49), 20911-20916. <https://doi.org/10.1073/pnas.1013305107>
- Nau, J. (2013). Fréquence cardiaque : de l'intérêt de mesurer sa « variabilité » . *Revue Médicale Suisse*, 9(372), 338-339. <https://doi.org/10.53738/revmed.2013.9.372.0338>
- Navarro-Haro, M. V., López-Del-Hoyo, Y., Campos, D., Linehan, M. M., Hoffman, H. G., García-Palacios, A., Modrego-Alarcón, 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), e0187777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187777>
- Ngô, T. (2014). Revue des effets de la méditation de pleine conscience sur la santé mentale et physique et sur ses mécanismes d'action. *Santé Mentale Au Québec*, 38(2), 19-34. <https://doi.org/10.7202/1023988ar>
- Nolen-Hoeksema, S., Wisco, B. E., & Lyubomirsky, S. (2008). Rethinking Rumination. *Perspectives on psychological science : a journal of the Association for Psychological Science*, 3(5), 400–424. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6924.2008.00088.x>
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Awh, E., Brown, G., Conway, A., Cowan, N., Donkin, C., Farrell, S., Hitch, G., Hurlstone, M., , W., Morey, C., Nee, D., Schweppe, J., Vergauwe, E., & Ward, G. (2018). Benchmarks for models of short-term and working memory. *Psychological bulletin*, 144 9, 885-958. <https://doi.org/10.1037/bul0000153>
- Oculus. (2021). Oculus Quest 2: Product specifications. Meta Platforms Inc. <https://www.meta.com/quest/>

OpenAI. (2025). *ChatGPT* (version 5.2) [Grand modèle de langage IA].

<https://chat.openai.com/chat>

Organisation mondiale de la Santé. (2022). *Rapport mondial sur la santé mentale : transformer la santé mentale pour tous. Vue d'ensemble.*

<https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/f849076f-a2c6-4300-882ab902a036be27/content>

Otzenberger, H., Gronfier, C., Simon, C., Charloux, A., Ehrhart, J., Piquard, F., & Brandenberger, G. (1998). Dynamic heart rate variability : a tool for exploring sympathovagal balance continuously during sleep in men. *American Journal Of Physiology-Heart And Circulatory Physiology*, 275(3), H946-H950. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1998.275.3.h946>

Oudeyer, P. Y., & Kaplan, F. (2007). What is Intrinsic Motivation? A Typology of Computational Approaches. *Frontiers in neurorobotics*, 1, 6. <https://doi.org/10.3389/neuro.12.006.2007>

Palmisano, S., & Constable, R. (2022). Reductions in sickness with repeated exposure to HMD-based virtual reality appear to be game-specific. *Virtual Reality*, 26(4), 1373-1389. <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00634-6>

Patel, V., Saxena, S., Lund, C., Thornicroft, G., Baingana, F., Bolton, P., Chisholm, D., Collins, P. Y., Cooper, J. L., Eaton, J., Herrman, H., Herzallah, M. M., Huang, Y., Jordans, M. J. D., Kleinman, A., Medina-Mora, M. E., Morgan, E., Niaz, U., Omigbodun, O., Prince, M., ... Unützer, J. (2018). The Lancet Commission on global mental health and sustainable development. *Lancet (London, England)*, 392(10157), 1553–1598. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31612-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31612-X)

Paul, M., Bullock, K., & Bailenson, J. (2022). Virtual Reality Behavioral Activation for Adults With Major Depressive Disorder : Feasibility Randomized Controlled Trial. *JMIR Mental Health*, 9(5), e35526. <https://doi.org/10.2196/35526>

- Pessoa, L., & Engelmann, J. B. (2010). Embedding reward signals into perception and cognition. *Frontiers in neuroscience*, 4, 17. <https://doi.org/10.3389/fnins.2010.00017>
- Pham, T., Lau, Z. J., Chen, S. H. A., & Makowski, D. (2021). Heart Rate Variability in Psychology : A Review of HRV Indices and an Analysis Tutorial. *Sensors*, 21(12), 3998. <https://doi.org/10.3390/s21123998>
- Poetar, C., 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>
- Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 98(2), 676-682. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.2.676>
- Savitz, J., Hodgkinson, C. A., Martin-Soelch, C., Shen, P., Szczepanik, J., Nugent, A., Herscovitch, P., Grace, A. A., Goldman, D., & Drevets, W. C. (2013). The Functional DRD3 Ser9Gly Polymorphism (rs6280) Is Pleiotropic, Affecting Reward as Well as Movement. *PLoS ONE*, 8(1), e54108. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054108>
- Schultz, W. (1997). Dopamine neurons and their role in reward mechanisms. *Current Opinion In Neurobiology*, 7(2), 191-197. [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(97\)80007-4](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(97)80007-4)
- Schultz, W., Dayan, P., & Montague, P. R. (1997). A Neural Substrate of Prediction and Reward. *Science*, 275(5306), 1593-1599. <https://doi.org/10.1126/science.275.5306.1593>
- Schwab, J. F., & Somerville, L. H. (2022). Raising the Stakes for Online Learning : Monetary Incentives Increase Performance in a Computer-Based Learning Task Under Certain Conditions. *Frontiers In Psychology*, 13, 780301. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.780301>

- 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>
- Segal, Z. V., & Walsh, K. M. (2016). Mindfulness-based cognitive therapy for residual depressive symptoms and relapse prophylaxis. *Current opinion in psychiatry*, 29(1), 7–12. <https://doi.org/10.1097/YCO.0000000000000216>
- Seli, P., Kane, M. J., Smallwood, J., Schacter, D. L., Maillet, D., Schooler, J. W., & Smilek, D. (2018). Mind-Wandering as a Natural Kind : A Family-Resemblances View. *Trends In Cognitive Sciences*, 22(6), 479-490. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.03.010>
- Servant, D., Lebeau, J., Mouster, Y., Hautekeete, M., Logier, R., & Goudemand, M. (2008). La variabilité cardiaque. *Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive*, 18(2), 45-48. <https://doi.org/10.1016/j.jtcc.2008.04.003>
- 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>
- Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions Of The Royal Society B Biological Sciences*, 364(1535), 3549-3557. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>
- Smillie, L. D., Jach, H. K., Hughes, D. M., Wacker, J., Cooper, A. J., & Pickering, A. D. (2019). Extraversion and reward-processing : Consolidating evidence from an electroencephalographic index of reward-prediction-error. *Biological Psychology*, 146, 107735. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2019.107735>
- Spielberger, C. D. (2015). State-Trait Anxiety Inventory (STAI-Y). In Measures of Personality and Social Psychological Attitudes (pp. 229-234). *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386915-9.00018-9>

-
- Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., Lushene, R., Vagg, P. R., & Jacobs, G. A. (1983).
Manual for the State-Trait Anxiety Inventory. Palo Alto, CA: Consulting
Psychologists Press.
- Sumantry, D., & Stewart, K. E. (2021). Meditation, Mindfulness, and Attention : a
Metaanalysis. *Mindfulness*, 12(6), 1332-1349. <https://doi.org/10.1007/s12671-021-01593-w>
- Sundas, A., Contreras, I., Navarro-Otano, J., Soler, J., Beneyto, A., & Vehi, J. (2025).
Heart rate variability over the decades : a scoping review. *PeerJ*, 13, e19347.
<https://doi.org/10.7717/peerj.19347>
- Take Care Coaching. (s. d.). 8-minute mindful breathing meditation. *Insight
Timer*. <https://insighttimer.com/takecarecoaching/guided-meditations/8-minutemindful-meditation-with-music>
- 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>
- Tandon, T., Ledermann, K., Gupta, R., Morina, N., Wadji, D. L., Piccolo, M., &
MartinSoelch, C. (2022). The relationship between behavioural and mood
responses to monetary rewards in a sample of students with and without reported
pain. *Humanities And Social Sciences Communications*, 9(1).
<https://doi.org/10.1057/s41599-022-01044-4>
- Tang, Y. Y., Hölzel, B. K., & Posner, M. I. (2015). The neuroscience of mindfulness
meditation. *Nature reviews. Neuroscience*, 16(4), 213–225.
<https://doi.org/10.1038/nrn3916>
- Ter Avest, M. J., Greven, C. U., Huijbers, M. J., Wilderjans, T. F., Speckens, A. E. M., &
Spinhoven, P. (2020). Mindfulness and Affect During Mindfulness-Based Cognitive
Therapy for Recurrent Depression : an Autoregressive Latent Trajectory
Analysis. *Mindfulness*, 11(10), 2360-2370. <https://doi.org/10.1007/s12671-020-01453-z>

- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal Of Affective Disorders*, 61(3), 201-216. [https://doi.org/10.1016/s0165-0327\(00\)00338-4](https://doi.org/10.1016/s0165-0327(00)00338-4)
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2011). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies : Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747-756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
- Thayer, J. F., Yamamoto, S. S., & Brosschot, J. F. (2009). The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. *International Journal Of Cardiology*, 141(2), 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2009.09.543>
- Thayer, J. F., Ahs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., 3rd, & Wager, T. D. (2012). A metaanalysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 36(2), 747–756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
- Thomas, B. L., Claassen, N., Becker, P., & Viljoen, M. (2019). Validity of Commonly Used Heart Rate Variability Markers of Autonomic Nervous System Function. *Neuropsychobiology*, 78(1), 14–26. <https://doi.org/10.1159/000495519>
- Thompson, E. R. (2007). Development and Validation of an Internationally Reliable ShortForm of the Positive and Negative Affect Schedule (PANAS). *Journal Of Cross-Cultural Psychology*, 38(2), 227-242. <https://doi.org/10.1177/0022022106297301>
- Van Der Mee, D., Gevonden, M., Westerink, J., & De Geus, E. (2021). Validity of electrodermal activity-based measures of sympathetic nervous system activity from a wrist-worn device. *International Journal Of Psychophysiology*, 168, 52-64. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.08.003>
- Wang, W., Yan, X., He, X., & Qian, J. (2024). Evidence for the Beneficial Effect of Reward on Working Memory: A Meta-Analytic Study. *Journal of Intelligence*, 12. <https://doi.org/10.3390/jintelligence12090088>
- Wang, X., Mo, X., Fan, M., Lee, L., Shi, B. E., & Hui, P. (2022). Reducing Stress and

Anxiety in the Metaverse : A Systematic Review of Meditation, Mindfulness and Virtual Reality. *arXiv (Cornell University)*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2209.14645>

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>

Wolfe, A. H. J., Hinds, P. S., Du Plessis, A. J., Gordish-Dressman, H., Freedenberg, V., & Soghier, L. (2024). Mindfulness exercises reduce acute physiologic stress among female clinicians. *Critical Care Explorations*, 6(11), e1171. <https://doi.org/10.1097/cce.0000000000001171>

Xie, J., Elsadek, M., Deshun, Z., Zhou, Z., & Gao, J. (2025). Tactile and olfactory stimulation reduce anxiety and enhance autonomic balance : a multisensory approach for healthcare settings. *BMC Psychology*, 13(1), 806. <https://doi.org/10.1186/s40359-025-03140-x>

Zeidan, F., Martucci, K. T., Kraft, R. A., McHaffie, J. G., & Coghill, R. C. (2014). Neural correlates of mindfulness meditation-related anxiety relief. *Social cognitive and affective neuroscience*, 9(6), 751–759. <https://doi.org/10.1093/scan/nst041>