

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



MÉDITATION GUIDÉE IMMERSIVE EN RÉALITÉ VIRTUELLE ET RÉGULATION ÉMOTIONNELLE

Étude des variations de l'anxiété, de la variabilité cardiaque et de la réponse à la récompense

Annalisa Massa Boccia¹⁻²,

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

*Auteur·e correspondant·e : Annalisa Massa Boccia, annalisa.massaboccia@unifr.ch

Citation : Massa Boccia, A., (2026). Méditation guidée immersive en réalité virtuelle et régulation émotionnelle Étude des variations de l'anxiété, de la variabilité cardiaque et de la réponse à la récompense. *Cortica*, 5(2), 264–329. <https://doi.org/10.26034/cortica.2026.11663> (rédaction)

Résumé

La méditation guidée en réalité virtuelle (VR) est prometteuse pour réduire l'anxiété et le stress, en mobilisant l'intéroception, l'attention focalisée et la régulation autonome. Cependant, il reste à déterminer si la VR surpasse une modalité vidéo classique sur des indicateurs subjectifs (anxiété d'état) et physiologiques (activité électrodermale, EDA phasique), et selon quelles voies explicatives (médiation par la pleine conscience d'état ; modération par le profil autonome de base). Dans cette étude expérimentale, nous avons comparé l'effet d'une séance unique de méditation guidée en VR ou en vidéo sur (a) l'anxiété d'état (STAI-Y), (b) le stress physiologique (EDA phasique), et (c) la performance à une tâche de récompense (accuracy). Nous avons également testé (d) une médiation par la pleine conscience d'état, et (e) une modération par la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) et l'anxiété de base. Le plan comportait un facteur inter-sujets (Groupe : VR vs vidéo) et des facteurs intra-sujets (Temps/Phase), avec des analyses principales en ANOVA mixte (Groupe × Temps/Phase), médiation par bootstrap (5 000 répliques) et modèles d'interaction pour la modération (variables centrées). Les résultats montrent un effet robuste du temps ($F(1, 93)=78.21$, $p<.001$) avec une réduction globale de l'anxiété/stress entre les mesures pré et post-séance. En revanche, ni l'effet principal de Groupe ($F(1, 93)=0.48$, $p>.05$), ni l'interaction Groupe × Temps ($F(1, 93)=0.77$, $p>.05$) ne sont significatifs, suggérant une amélioration généralisée sans avantage clair de la réalité virtuelle à ce stade. Les coefficients de médiation par la pleine conscience d'état sont faibles et non robustes ($b=-0.103$ et $b=0.31$, IC recouvrant zéro), n'indiquant pas de rôle médiateur fiable. À l'échelle intra-séance, l'EDA phasique diminue progressivement au fil des phases ($F(3, 312)=13.07$, $p<.001$), et la performance tend à s'améliorer, sans effet différentiel selon la modalité.

Cela peut suggérer une désactivation autonome progressive compatible avec l'effet relaxant de l'induction. Enfin, aucune interaction modérée par le profil HRV ou l'anxiété de base n'a été observée (effets non significatifs, tailles d'effet faibles). En conclusion, cette étude met en évidence une amélioration pré–post de l'anxiété et du stress physiologique, indépendamment du support immersif utilisé. La supériorité de la réalité virtuelle n'est pas démontrée ici, et ni la médiation par la pleine conscience d'état ni la modulation par les variables physiologiques de base ne s'avèrent significatives. Ces résultats soutiennent l'efficacité globale d'une induction guidée brève, et appellent à des recherches futures préenregistrées, avec groupes contrôle actifs, mesures de présence et de cybersickness, contrôle de la respiration (HRV) et échantillons plus larges pour évaluer plus finement le potentiel spécifique de la réalité virtuelle.

Mots clés : Réalité virtuelle ; Méditation guidée ; Anxiété d'état (STAI) ; Activité électrodermale (EDA) ; Variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) ; Pleine conscience d'état ; Régulation autonome ; Performance cognitive

Abstract

Guided meditation in virtual reality (VR) holds promise for reducing anxiety and stress by engaging interoception, focused attention, and autonomic regulation. However, it remains to be determined whether VR outperforms a standard video modality on subjective (state anxiety) and physiological (phasic electrodermal activity, EDA) indicators, and through which mechanisms (e.g., mediation by state mindfulness; moderation by baseline autonomic profile). In this experimental study, we compared the effects of a single session of guided meditation delivered in VR versus video format on (a) state anxiety (STAI-Y), (b) physiological stress (phasic EDA), and (c) performance on a reward task (accuracy). We also examined (d) mediation by state mindfulness and (e) moderation by baseline heart rate variability (HRV) and trait anxiety. The design included one between-subjects factor (Group: VR vs. video) and within-subjects factors (Time/Phase), with primary analyses conducted using mixed ANOVAs (Group $\times$ Time/Phase), bootstrapped mediation (5,000 replications), and interaction models for moderation (centered variables). Results revealed a robust main effect of Time ($F(1, 93)=78.21, p<.001$), indicating a global reduction in anxiety/stress from pre- to postsession. However, neither the Group effect ($F(1, 93)=0.48, p>.05$) nor the Group $\times$ Time interaction ($F(1, 93)=0.77, p>.05$) were significant, suggesting that the observed improvement is general rather than modality-specific. Mediation coefficients for state mindfulness were weak and non-robust ($b=-0.103$ and $b=0.31$, with confidence intervals including zero), indicating no reliable mediating effect. Within the session, phasic EDA decreased significantly across phases ($F(3,$

312)=13.07, $p<.001$), and performance (accuracy) showed a non-significant trend toward improvement, with no clear modality advantage—consistent with a progressive autonomic deactivation linked to the guided induction. No robust moderation effects were found for HRV or baseline anxiety (nonsignificant interactions, small effect sizes). In conclusion, this study demonstrates pre–post improvements in anxiety and physiological stress regardless of the delivery modality. No clear superiority of VR over video was found, and neither state mindfulness nor baseline physiological markers emerged as significant explanatory mechanisms. These findings support the general effectiveness of brief guided inductions and underscore the need for preregistered studies with active control conditions, measures of presence and cybersickness, respiratory control (HRV), and larger sample sizes to further evaluate the specific potential of immersive VR interventions.

Key Words: Virtual Reality (VR); Guided Meditation; State Anxiety (STAI); Phasic Electrodermal Activity (EDA); Heart Rate Variability (HRV); State Mindfulness; Autonomic Regulation; Cognitive Performance

Introduction

Au cours des dernières décennies, l'accélération des rythmes de vie et l'injonction à la performance se sont imposées comme des marqueurs sociaux majeurs, parallèlement à l'essor des technologies numériques et des applications dédiées au maintien du bien-être physique et mental. (Pappaiani et al., 2016; Sussman & Sekuler, 2022). Or, le « bien-être » ne se réduit ni à une simple sensation de confort ni à l'absence de symptômes. Selon l'Organisation mondiale de la Santé (1946), la santé mentale correspond à un état de bien-être dans lequel chaque personne réalise ses capacités, fait face aux tensions normales de la vie, travaille de façon productive et contribue à sa communauté. Cette dynamique s'inscrit dans un contexte d'intensification des exigences psychosociales et de la pression à la performance dans la vie quotidienne (Stansfeld & Candy, 2006; Siegrist, 2016), parallèlement à l'essor des technologies numériques de santé mentale, dont l'efficacité réelle et les limites sont désormais bien documentées (Firth et al., 2017; Weisel et al., 2019; Torous & Firth, 2018). Cette définition, devenue un référentiel, invite à évaluer les interventions numériques non seulement à l'aune de la réduction de la détresse, mais aussi de leur potentiel à soutenir le fonctionnement adaptatif et la participation sociale. (World Health Organization. (2001).

Dans ce cadre, la méditation de pleine conscience (mindfulness) s'est progressivement imposée comme une pratique scientifique et clinique à part entière. D'origine bouddhiste et popularisée en

Occident grâce à Jon Kabat-Zinn dans les années 1970, son concept s'est concrétisé sous la forme d'un entraînement de l'esprit laïc, qui vise à développer et à maintenir l'attention sur le moment présent, l'acceptation de soi et la régulation émotionnelle (Bondolfi & Stiefel, 2023a). Les recherches récentes montrent que ces pratiques contribuent significativement à la réduction du stress, de l'anxiété et de la dépression, ainsi qu'à l'amélioration de la qualité de vie dans divers contextes cliniques et non cliniques (Courbet & Fourquet-Courbet, 2024). Parallèlement, le développement des technologies immersives, en particulier la réalité virtuelle (RV), ouvre de nouvelles perspectives pour la promotion du bien-être. (Ma et al., 2023a) En permettant la création d'environnements interactifs et sensoriellement immersifs, la RV favorise la concentration et la relaxation tout en réduisant les distractions extérieures (X. Wang et al., 2022). Des études récentes soulignent ses effets positifs sur la qualité de vie, la motivation et la diminution de l'anxiété (Agli et al., 2024). Ainsi, l'association de la pleine conscience et de la RV offre la possibilité d'optimiser l'expérience de relaxation et de mindfulness, en combinant les bénéfices d'une pratique guidée et d'une immersion sensorielle immersive. Des études en neurosciences ont montré que la méditation de pleine conscience agit sur les circuits cérébraux impliqués dans la régulation émotionnelle, notamment le cortex préfrontal ventromédian et le cortex cingulaire antérieur, favorisant ainsi la réduction de l'anxiété (Zeidan et al., 2014). Ces résultats soutiennent l'idée selon laquelle la méditation favorise un meilleur contrôle des pensées autoréférentielles et des processus de rumination (Tomasino et al., 2022).

Plusieurs modèles neurocognitifs ont mis en évidence l'intrication entre les systèmes de la peur, de la récompense et de la motivation. Le modèle classique de Gray (1981), articulé autour du Behavioural Inhibition System (BIS) et du Behavioural Activation System (BAS), postule que l'anxiété découle d'une hyperactivation du BIS, centré sur la détection des menaces et l'évitement, combinée avec une sous-activation du BAS, lié à la recherche de récompense et à l'approche motivationnelle. Des travaux plus récents (Kringelbach & Berridge, 2017), ont précisé ce cadre en identifiant le rôle du striatum ventral, du noyau accumbens et du cortex orbitofrontal comme nœuds critiques de la valence hédonique et de la motivation dirigée vers la récompense. Or, plusieurs études en imagerie cérébrale ont montré que les troubles anxieux s'accompagnent d'une dysrégulation du système dopaminergique mésolimbique, se traduisant par une réactivité diminuée aux stimuli positifs et une activation accrue du réseau de la saillance (amygdale, insula, cortex cingulaire antérieur) face aux menaces potentielles (Admon & Pizzagalli, 2015).

Dans cette perspective, l'anxiété pourrait être envisagée non seulement comme un excès d'évitement mais aussi comme un déficit de récompense, un déséquilibre entre les circuits d'approche et d'inhibition. Ce cadre permet de relier les effets observés des interventions

méditatives (Zeidan et al., 2014) ou des expériences immersives en réalité virtuelle (Agli et al., 2024) à des mécanismes de recalibration du système motivationnel et émotionnel. En agissant sur les réseaux fronto-limbiques impliqués dans la régulation attentionnelle et la valorisation hédonique, ces dispositifs pourraient restaurer une dynamique plus équilibrée entre anxiété, activation et récompense, favorisant ainsi un état de bien-être psychologique durable (Tang et al., 2015).

Cette étude s'intéresse à la méditation en réalité virtuelle ainsi qu'à la méditation non immersive via vidéo. Elle vise à explorer les interactions entre les dimensions physiologiques, psychologiques et comportementales, tout en comblant, autant que possible, les lacunes existantes dans la littérature sur ce sujet. Pour ce faire, nous proposons de situer notre objectif de recherche au sein d'un cadre théorique rigoureux, permettant d'en clarifier les fondements et les enjeux.

Cette recherche vise ainsi à examiner comment la méditation de pleine conscience, pratiquée dans un environnement virtuel immersif, influence la régulation émotionnelle et les marqueurs physiologiques associés. En combinant les mesures de variabilité cardiaque (HRV), d'activité électrodermale (EDA) et d'électroencéphalographie (EEG), l'étude propose une approche intégrative permettant de mieux comprendre les interactions entre attention, émotion et régulation physiologique dans le cadre des processus de santé mentale et de bien-être psychologique.

Contexte théorique

La pleine conscience

La pleine conscience constitue un concept multidimensionnel, ancré dans la philosophie bouddhiste, mais ayant trouvé un plein essor et un soutien important en Occident (KabatZinn, 2003). Bien que sa définition puisse varier selon les contextes, toutes convergent vers son essence fondamentale : l'attention au moment présent et la conscience des sensations actuelles, ici et maintenant. Dans le contexte occidental, ces principes ont été opérationnalisés de manière rigoureuse, notamment à travers le programme de réduction du stress basé sur la pleine conscience (MBSR) de Kabat-Zinn, dont l'efficacité clinique a été documentée dans la réduction du stress, de l'anxiété et de la dépression (Bondolfi & Stiefel, 2023a; Chiesa & Serretti, 2010). Selon Kabat-Zinn 2003, il s'agit d'un « état de conscience qui résulte du fait de porter son attention, intentionnellement, au moment présent, sans juger, sur l'expérience qui se déploie instant après instant ». Sur cette base, la méditation immersive, ainsi que sa version en réalité virtuelle, peuvent être envisagées comme des prolongements contemporains et technologiques de la pleine conscience, offrant de nouvelles perspectives pour l'exploration scientifique des effets physiologiques, cognitifs et émotionnels de la pratique méditative (Blackmore et al., 2024; Ma et al., 2023b).

Définition

La pleine conscience peut être définie (Kabat-Zinn, 2001) comme :

« La pleine conscience émerge en prêtant attention, intentionnellement, moment après moment, de manière non jugeante, à l'expérience présente. »

Principes

Cette définition met en évidence trois composantes essentielles. Première composante est l'attention intentionnelle i.e. qu'elle est dirigée de manière délibérée vers le moment présent, évitant les distractions automatiques et favorisant un focus conscient sur les expériences sensorielles, cognitives et émotionnelles. Cette capacité à orienter volontairement l'attention constitue le centre de la pratique de la pleine conscience. Après on retrouve la conscience non jugeante, explique par le fait qu'Être conscient ne consiste pas seulement à observer ce qui se passe, mais à le faire sans étiqueter, critiquer ou rejeter ses expériences internes. Cette attitude d'acceptation favorise la régulation émotionnelle et réduit la réactivité automatique face aux pensées et sensations désagréables.

Et la reconnaissance des expériences internes car la pleine conscience implique une conscience intéroceptive, c'est-à-dire la capacité de percevoir les signaux corporels, les émotions et les pensées sans en être submergé. Cette conscience interne permet de reconnaître des schémas émotionnels et cognitifs, facilitant une réponse adaptative aux stimuli internes.

Bénéfices

La mindfulness a montré des bénéfices sur la régulation des émotions (Wheeler et al., 2017), en réduisant la rumination et l'humeur négative grâce à des pratiques centrées sur la respiration, l'attention au moment présent et des exercices de pleine conscience ciblés (Segal et al., 2024). Ces effets peuvent être observés même après de courtes séances de méditation, qui augmentent le niveau de mindfulness d'état (Rubin et al., 2024; Sleimen-Malkoun et al., 2023)

Le lien entre réalité virtuelle et mindfulness et l'embodiment

Récemment, l'intégration de la réalité virtuelle (VR) dans les programmes de mindfulness a été explorée (Blackmore et al., 2024). Les environnements immersifs, combinés à la musique et à un

guidage audio, permettent aux participants de maintenir leur attention sur le moment présent, de éviter les distracteurs et de renforcer l'expérience méditative (Ma et al., 2023a). La VR pourrait ainsi améliorer l'engagement et l'efficacité des pratiques de mindfulness, en particulier lorsqu'elle est utilisée dans des contextes cliniques ou éducatifs, bien que des limites techniques peuvent être remarqué (Navarro-Haro et al., 2017), telles que la qualité de l'image ou le poids des casques que risque de devenir un distracteur. Des recherches récentes en neurosciences cognitives suggèrent que la perception du corps et la régulation des émotions reposent sur des processus de embodied simulation ou simulation incarnée. Autrement dit, le cerveau construit en permanence des modèles internes du corps et de ses interactions avec le milieu environnant, lui permettant d'anticiper et d'ajuster les réactions motrices, physiologiques et affectives selon le contexte (Riva et al., 2019).

Ces processus suivent en continuité les travaux sur les neurones miroirs (Rizzolatti & Craighero, 2004), qui avaient montré que certaines régions corticales s'activent à la fois lors de l'exécution et de l'observation d'une action. Toutefois, la notion de simulation incarnée proposée par Riva dépasse le cadre moteur initial parce que elle inclut aussi une dimension intéroceptive et émotionnelle du vécu corporel, considérée comme le socle du sentiment de présence et de la conscience du soi (Gall et al., 2021).

Cadre théorique de référence

Après avoir défini les principes fondamentaux de la pleine conscience et exploré ses applications contemporaines, il est essentiel de situer ces phénomènes dans un cadre explicatif plus large. Plusieurs modèles nous permettent de comprendre comment la pleine conscience agit sur les mécanismes de régulation émotionnelle et de bien-être. Ces modèles fournissent un socle théorique solide pour interpréter les effets observés dans les pratiques méditatives, notamment lorsqu'elles sont associées à des dispositifs immersifs de réalité virtuelle.

Modèle de la régulation émotionnelle

La théorie de la régulation émotionnelle (Gross, 2015) postule que les émotions ne sont pas simplement des réponses automatiques, mais des processus dynamiques pouvant être modulés à différents stades, à partir de la situation initiale à la réponse émotionnelle finale. L'anxiété, dans ce cadre, peut être comprise comme une stratégie de contrôle inefficace, où l'individu cherche à éviter ou supprimer les émotions négatives, renforçant ainsi la réactivité physiologique. À l'inverse, le bien-être découle d'une stratégie d'acceptation et d'intégration des états internes (Gross & Jazaieri, 2014). Les pratiques de pleine conscience favorisent donc cette attitude d'acceptation, en stimulant une conscience attentive et non jugeante (Kabat-Zinn, 2001) des expériences internes. Des études

récentes (Allegretta et al., 2024; Grecucci et al., 2015; Ramirez et al., 2025) montrent que la méditation augmente la flexibilité cognitive et diminue la réactivité émotionnelle, renforçant la régulation bottom-up. Ces effets s'accompagnent de modifications physiologiques observables, tels qu'une augmentation de la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV), notamment du paramètre Root Mean Square of Successive Differences (RMSSD), marqueur d'une activation intensifiée du système parasympathique, associée à la détente et à la régulation émotionnelle. En parallèle, l'activité des régions frontales du cortex, mise en évidence par l'EEG, traduit l'implication des mécanismes de contrôle émotionnel.

Modèle transactionnel du stress

Le modèle transactionnel (Lazarus & Folkman, 1984, p. 19) définit le stress comme une transaction entre l'individu et son environnement, fondée sur la perception subjective de la menace et les ressources disponibles pour y faire face. Lorsque la situation est évaluée comme dépassant les ressources personnelles, des réponses de stress et d'anxiété émergent. Dans cette optique, la pleine conscience agit sur les processus d'évaluation primaire et secondaire : elle réduit la perception de menace et favorise un coping centré sur la régulation émotionnelle plutôt que sur l'évitement (Garland et al., 2015). Des recherches récentes ont confirmé ce lien : la pratique méditative augmente la conscience du moment présent et améliore la tolérance à l'incertitude, éléments clés de la résilience psychologique (Altan-Atalay et al., 2024)

Modèle neuroviscéral et régulation autonome

Le modèle neuroviscéral (Thayer & Lane, 2000) propose que la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) constitue un indicateur central de la régulation émotionnelle. Une HRV élevée reflète une flexibilité physiologique accrue et une meilleure capacité du cortex préfrontal à inhiber les réponses automatiques liées au stress. Cette conception rejoint la théorie polyvagale (Porges, 2011, pp. 35-38; pp.123-126) selon laquelle un tonus vagal élevé traduit un état de sécurité et d'engagement social, tandis qu'une dominance sympathique est associée à l'hypervigilance et à l'anxiété.

Dans cette perspective, la méditation de pleine conscience agit comme un modulateur du système nerveux autonome, favorisant une activation parasympathique et une réduction du stress perçu. Des travaux antérieurs ont montré que la pratique régulière de la pleine conscience induit une baisse de l'anxiété et une amélioration du contrôle attentionnel (Zeidan et al., 2014), cohérente avec une restauration de la balance autonome. Ces mécanismes pourraient expliquer les effets observés sur le bien-être et la réduction du stress rapportés dans les études sur la méditation et la réalité virtuelle (Agli et al., 2024; Bondolfi & Stiefel, 2023b; Courbet & Fourquet-Courbet, 2024).

Système de récompense et motivation

Le système dopaminergique mésolimbique, incluant le striatum ventral et le cortex orbitofrontal, joue un rôle central dans le traitement des stimuli affectifs et dans la motivation dirigée vers un but (Delgado, 2007). Le modèle de la récompense (Berridge & Robinson, 2016; Kringelbach & Berridge, 2017) distingue deux dimensions : le wanting (désir, motivation anticipatoire) et le liking (plaisir ressenti). Dans les troubles anxieux, le système dopaminergique mésolimbique, incluant le striatum ventral et le cortex orbitofrontal, présente une activation réduite lors des expériences positives et une hyperréactivité face aux menaces (Admon & Pizzagalli, 2015; Martin-Soelch et al., 2021). Cette asymétrie entre évitement et approche est associée à un déséquilibre du bien-être émotionnel. La méditation favorise une réévaluation des stimuli et une régulation du wanting, orientant l'expérience vers le liking présent (Kringelbach & Berridge, 2017; Zeidan et al., 2014). Ces effets sont soutenus par des observations en EEG, montrant une réduction des oscillations bêta frontales et une augmentation de l'activité alpha postérieure liée à la relaxation (Tomasino et al., 2022).

Conscience intéroceptive et bien-être

L'intéroception, définie comme la capacité à percevoir et interpréter les signaux corporels internes, constitue une composante essentielle de la pleine conscience ((Bud) Craig, 2009). Cette conscience corporelle permet une meilleure identification des émotions et favorise la régulation bottom-up des états affectifs (Price & Weng, 2021). Des travaux récents sur la méditation (Tomasino et al., 2022; Zeidan et al., 2014) ont démontré une activation accrue du cortex insulaire antérieur et du cingulum antérieur, régions impliquées dans l'intégration sensorielle et la conscience émotionnelle. Ces résultats soutiennent l'hypothèse selon laquelle le bien-être découle d'une harmonisation entre les signaux corporels, la perception consciente et la régulation des réponses motivantes et émotionnelles.

Corrélat psychobiologiques des émotions et de la récompense

Les émotions, de même que les processus de récompense, reposent sur un ensemble de circuits cérébraux interconnectés, articulant les structures limbiques, les voies dopaminergiques mésolimbiques et les régions corticales préfrontales impliquées dans la régulation et l'intégration des réponses émotionnelles (Bear et al., 2016, p. 688-699). Selon Ledoux (1998), chaque émotion correspond à une unité fonctionnelle distincte issue de l'évolution et composée de plusieurs structures neuronales reliées entre elles. Cette conception marque une rupture avec la tradition localisationniste de Broca (1878) et à suivre de Papez (1937) d'un « centre unique » de l'émotion, et met en évidence l'existence de systèmes dynamiques distribués et interdépendants (Lotstra, 2002).

Parmi ces structures, l'amygdale occupe une place centrale dans le traitement et la régulation des émotions de base, notamment la peur (Bear et al., 2016, p. 691-692; LeDoux, 1998). Située dans la portion antérieure du lobe temporal, elle reçoit des afférences directes du thalamus et du cortex sensoriel et projette vers l'hypothalamus et le tronc cérébral, responsables des réponses physiologiques telles que la tachycardie ou la sudation (Bear et al., 2016, p. 691-693; LeDoux, 1998).

Deux voies principales sont impliquées : une voie rapide thalamo-amygdalienne, permettant une réaction réflexe immédiate, et une voie plus lente thalamo-corticoamygdalienne, impliquée dans l'analyse consciente du stimulus émotionnel (LeDoux, 1998, p. 161-180). Cette organisation hiérarchique reflète la complémentarité fonctionnelle entre, d'une part, les processus automatiques de survie assurés par les structures sous-corticales, telles que l'amygdale et l'hypothalamus, et, d'autre part, le contrôle cognitif exercé par les régions corticales préfrontales, responsables de l'analyse contextuelle et de la modulation consciente des réponses émotionnelles (Damasio et al., 2002, p. 149-166).

Le système de la récompense repose principalement sur le circuit dopaminergique mésolimbique reliant l'aire tegmentale ventrale (VTA) au noyau accumbens et au cortex préfrontal (Bear et al., 2016, p. 694-697). Ce circuit s'active lors des comportements motivés et des expériences de plaisir, soutenant l'énergisation et l'orientation de l'action face aux événements pertinents pour le bien-être individuel (Sander et al., 2019, p. 200-232). La dopamine y signale surtout la valeur motivationnelle d'un stimulus, plus que le plaisir en soi, selon la distinction entre wanting et liking proposée par Berridge et Robinson (2016).

Une activité équilibrée de ce système soutient la motivation et la régulation émotionnelle, alors qu'une hypoactivation est associée à l'anhédonie et à la perte d'intérêt caractéristiques des troubles dépressifs (Admon & Pizzagalli, 2015).

Le cortex préfrontal, notamment ses régions orbitofrontales, cingulaires antérieures et ventromédianes, joue un rôle central dans la modulation des réponses émotionnelles et dans l'évaluation consciente des récompenses (Pessoa, 2015, Chapitre 2). Ces régions exercent un contrôle inhibiteur sur les structures limbiques, modulant l'expression émotionnelle en fonction du contexte social et des objectifs personnels (Damasio et al., 2002, p. 150-165). Cette connectivité fronto-limbique constitue le fondement neurobiologique de la régulation émotionnelle et permet une adaptation flexible de l'organisme aux variations environnementales (Bear et al., 2016, p. 697-699).

Dans le contexte de la pleine conscience et de la méditation, ces circuits apparaissent particulièrement modulables : plusieurs études d'imagerie ont mis en évidence une diminution de l'activité amygdalienne et une augmentation de l'activité du cortex cingulaire antérieur et préfrontal

après entraînement méditatif (Zeidan et al., 2014). Cette réorganisation fonctionnelle s'accompagne d'une amélioration de la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV), indicateur d'un renforcement du tonus parasympathique et d'une meilleure régulation émotionnelle (Thayer & Lane, 2000).

Le rôle du système dopaminergique dans la motivation et la récompense

Le système dopaminergique constitue donc l'un des fondements neurobiologiques de la motivation et du comportement orienté vers un but (Bear et al., 2016, p. 694-697). Les neurones dopaminergiques du mésencéphale, situés principalement dans l'aire tegmentale ventrale (VTA), projettent vers le noyau accumbens, l'amygdale et le cortex préfrontal ventromédian, formant la voie mésocorticolimbique, essentielle pour la recherche et l'anticipation de récompenses (Schultz, 2015).

Ce circuit s'active en réponse aux stimuli gratifiants ou à la simple anticipation d'une récompense, favorisant la préparation comportementale et la persistance dans l'action (Kringelbach & Berridge, 2017).

Selon la théorie de la salience incitative proposée par Berridge et Robinson (2016), la dopamine ne correspond pas à la sensation de plaisir (liking), mais à la force motivationnelle (wanting) qui pousse l'individu à rechercher la récompense. Elle agit en somme comme un véritable moteur comportemental, attribuant à certains stimuli une valeur d'incitation qui attire l'attention et déclenche la poursuite active de l'objectif désiré. Dans ce modèle, le système dopaminergique traduit l'énergie et la direction du comportement, alors que le plaisir subjectif dépend d'autres systèmes, notamment opioïdes et endocannabinoïdes (Berridge, 2012).

Ainsi, la libération dopaminergique dans le noyau accumbens renforce les associations entre les indices contextuels et les expériences gratifiantes, soutenant les processus d'apprentissage par renforcement (Schultz, 1998). La dopamine en somme agit comme un signal d'erreur de prédiction : son activité augmente lorsqu'une récompense inattendue survient, et diminue lorsque la récompense attendue est absente (Schultz, 2015).

Une activité dopaminergique équilibrée favorise la motivation adaptative et la flexibilité comportementale, alors qu'une hypoactivation du système mésolimbique est associée à des états d'anhédonie et de désengagement typiques de la dépression (Admon & Pizzagalli, 2015). Inversement, une hyperactivation persistante de ce système est observée dans les comportements addictifs, où la recherche de plaisir devient compulsive et découplée du contrôle préfrontal (Volkow et al., 2011). Ces observations confirment le rôle intégrateur de la dopamine dans la coordination entre motivation, émotion et cognition (Pessoa, 2015).

Sur le plan fonctionnel, le système dopaminergique interagit étroitement avec les circuits préfrontaux et limbiques impliqués dans la régulation émotionnelle et attentionnelle (Damasio et al., 2002, p. 149-166). Il soutient non seulement l'énergisation du comportement, mais aussi l'évaluation cognitive des buts et la priorisation des ressources attentionnelles (Sander et al., 2019, Chapitre 6).

Les émotions, dans cette perspective, remplissent une fonction adaptative : elles orientent la motivation et mobilisent les ressources de l'organisme face aux stimuli pertinents pour le bien-être (Cherubini et al., 2021, Chapitre 11).

Dans le cadre de la méditation et de la pleine conscience, plusieurs études montrent que la pratique régulière module l'activité dopaminergique et réduit la réactivité aux récompenses immédiates, favorisant une motivation intrinsèque et une régulation émotionnelle plus stable (Kirk & Montague, 2015; Tang et al., 2015). Ces ajustements neurofonctionnels s'accompagnent d'une diminution de l'arousal physiologique et d'une amélioration de la variabilité cardiaque (HRV), indicateur d'un meilleur équilibre entre excitation dopaminergique et contrôle parasympathique (Thayer & Lane, 2000).

Dans ce contexte, la stimulation du système dopaminergique mésolimbique lors des tâches de récompense telle que la Fribourg Reward Task pourrait être modulée par les effets régulateurs de la méditation immersive, conduisant à une réponse motivationnelle plus adaptative et à une intégration émotionnelle plus fine.

Cette hypothèse s'inscrit dans la continuité des modèles contemporains reliant la dopamine, la régulation physiologique et la flexibilité émotionnelle (Delgado, 2007). 2.1.12 bis Neuroplasticité, dopamine et régulation émotionnelle

Les recherches en neurosciences ont en plus montré, que la pratique de la méditation de pleine conscience s'accompagne de modifications fonctionnelles et structurelles dans le cortex préfrontal médian, le cortex cingulaire antérieur et l'insula, régions clés de la régulation émotionnelle et de la conscience intéroceptive (Tang et al., 2015). Cette plasticité découle d'une activation répétée des circuits attentionnels et frontolimbiques, renforçant la connectivité entre contrôle cognitif et perception corporelle (Tang et al., 2015; Zeidan et al., 2014).

Sur le plan neurochimique, la méditation module la transmission dopaminergique de manière que une augmentation de la libération de dopamine striatale a été observée pendant la méditation (Kirk & Montague, 2015; Kjaer et al., 2002), suggérant un effet d'auto-renforcement attentionnel et une réduction de la recherche de récompenses immédiates.

Ces observations rejoignent le modèle de Kringelbach & Berridge(2017), selon lequel la dopamine relie motivation, attention et plaisir conscient, soutenant une récompense plus intrinsèque et stable.

Ainsi, la méditation favorise une flexibilité motivationnelle et une régulation émotionnelle intégrée, traduisant une véritable plasticité du cerveau émotionnel.

Les indicateurs physiologiques : fréquence cardiaque et variabilité cardiaque

La fréquence cardiaque (FC) correspond au nombre de battements du cœur par minute, reflétant l'activité globale du système cardiovasculaire et son ajustement aux exigences métaboliques de l'organisme(Shaffer & Ginsberg, 2017).

Sa variabilité (HRV, heart rate variability) désigne les fluctuations naturelles de l'intervalle entre deux battements successifs, liées à l'équilibre entre les branches sympathique et parasympathique du système nerveux autonome.

Ensemble, la FC et la HRV constituent des indicateurs essentiels du fonctionnement autonome et de la régulation émotionnelle (Bear et al., 2016, p. 707-712). La FC reflète l'équilibre instantané entre les influences sympathiques et parasympathiques sur le cœur, tandis que la HRV traduit la capacité d'adaptation de l'organisme face aux exigences internes et environnementales, représentant ainsi un indice de flexibilité physiologique (Shaffer & Ginsberg, 2017).

Selon le modèle d'intégration neuroviscérale de Thayer & Lane (2000) , la HRV est un marqueur périphérique de la régulation centrale des émotions.

Ce modèle postule que le cortex préfrontal ventromédian exerce une influence inhibitrice sur les structures limbiques, notamment l'amygdale, et module les réponses du système nerveux autonome via les voies vagales efférentes.

Une HRV élevée reflète alors un contrôle préfrontal efficace, une plus grande flexibilité émotionnelle et une meilleure capacité à maintenir l'homéostasie face au stress.

À l'inverse, une réduction de la HRV est associée à un déséquilibre cortico-limbique et à une vulnérabilité accrue aux troubles anxieux ou dépressifs(Thayer & Lane, 2000).

Dans la même perspective,Damasio (2002) a proposé la théorie du marqueur somatique, selon laquelle les états corporels associés aux émotions, tels que les variations cardiaques, sont fondamental dans la prise de décision et la régulation affective.

Les structures cérébrales impliquées dans cette boucle corps–cerveau, incluant le cortex préfrontal, l'amygdale et le tronc cérébral, participent à la régulation dynamique des réponses physiologiques,

traduisant l'intégration entre expérience émotionnelle et contrôle autonome (Damasio et al., 2002, Chapitre 6).

Pessoa (2015) a prolongé cette approche en soulignant que la flexibilité émotionnelle dépend aussi de la connectivité fonctionnelle entre les réseaux cognitifs et affectifs, où la régulation physiologique constitue un indicateur objectif de cette intégration.

Dans le cadre de la méditation de pleine conscience, plusieurs travaux ont montré que l'entraînement attentionnel et respiratoire favorise l'activation du système parasympathique et augmente la HRV, traduisant une amélioration de la régulation émotionnelle (Kazzi et al., 2018; Tang et al., 2015).

Ces effets reposent sur une interaction entre les régions préfrontales et les structures limbiques, et suggérant que la pratique méditative renforce la capacité d'autorégulation à la fois cognitive et physiologique (Brown et al., 2021).

Ces mécanismes participent à une dynamique globale liant le corps, les émotions et les processus cognitifs, essentielle à la compréhension de la régulation émotionnelle et du bien-être psychologique.

Approche neurologique et psychobiologique émotions

Les émotions résultent d'une interaction complexe entre les réseaux cérébraux, le système nerveux autonome et les réponses endocriniennes (Pessoa, 2015).

L'amygdale intervient dans la détection de la signification émotionnelle des stimuli et dans l'initiation des réactions physiologiques rapides (LeDoux, 1998).

Le cortex préfrontal ventromédian et le cingulum antérieur assurent un contrôle cognitif sur ces réponses, permettant une modulation contextuelle et adaptative des états affectifs (Pessoa, 2015). En suite l'insula fait d'interface entre le corps et le cerveau en intégrant les signaux viscéraux et la conscience corporelle, ce qui soutient l'expérience subjective des émotions ((Bud) Craig, 2009) .

Ces régions communiquent avec le système nerveux autonome et le système endocrinien, qui traduisent sur le plan périphérique les états internes à travers des variations de la fréquence cardiaque, de la conductance cutanée ou de la sécrétion de cortisol (Damasio et al., 2002; Thayer & Lane, 2009), un ensemble des réponses physiologiques qui influencent à leur tour le traitement émotionnel.

Indicateurs physiologiques utilisés dans l'étude

Dans le cadre de cette étude, trois principaux indicateurs physiologiques ont été retenus afin de caractériser les processus de régulation émotionnelle et d'engagement cognitif mobilisés pendant la méditation immersive :

(1) la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV), considérée comme un marqueur de la régulation autonome (Thayer & Lane, 2000) ; (2) l'activité électrodermale (EDA), indicatrice de l'arousal émotionnel et de la réactivité du système sympathique (Boucsein, 2012) ; et (3) l'électroencéphalographie (EEG), permettant d'examiner les dynamiques neuronales associées à la relaxation et à l'attention focalisée (Cahn & Polich, 2006). L'analyse conjointe de ces trois paramètres vise à offrir une compréhension intégrée des effets physiologiques de la méditation guidée immersive en réalité virtuelle, en reliant les réponses corporelles et les mécanismes neurocognitifs de la régulation émotionnelle.

L'analyse conjointe de ces signaux permet d'obtenir une vue d'ensemble selon laquelle la HRV renseigne sur la régulation autonome, l'EDA sur l'activité sympathique et l'EEG sur les dynamiques corticales. Leur combinaison offre ainsi une mesure multidimensionnelle de la régulation émotionnelle pendant la méditation immersive.

Variabilité de la fréquence cardiaque (HRV)

Dans cette étude, la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) est utilisée comme indicateur physiologique de la régulation émotionnelle et du fonctionnement autonome. Elle reflète la capacité de l'organisme à ajuster la fréquence cardiaque en fonction des exigences internes et externes, traduisant ainsi sa flexibilité physiologique (Shaffer & Ginsberg, 2017).

Une augmentation du paramètre temporel RMSSD sera interprétée comme un signe d'amélioration de la régulation autonome et d'un état de relaxation.

Plusieurs travaux antérieurs ont montré que la pratique méditative, notamment dans des contextes immersifs, s'accompagne d'une hausse de la HRV et d'une réduction du stress perçu (Kazzi et al., 2018; Tang et al., 2015).

Activité électrodermale (EDA)

L'activité électrodermale (EDA) correspond aux variations de la conductance électrique de la peau, modulées par l'activité des glandes sudoripares sous le contrôle du système nerveux sympathique. Elle constitue un indicateur direct de l'activation émotionnelle et de l'arousal physiologique (Boucsein, 2012). Le terme arousal désigne l'état général d'activation physiologique de l'organisme, qu'il soit lié à l'excitation émotionnelle ou à la vigilance attentionnelle (Bradley et al., 2001).

L'EDA se compose d'une composante tonique, qui reflète la conductance de base, et d'une activité phasique, correspondant aux réponses rapides aux stimuli émotionnels (Boucsein, 2012). Dans les études de méditation, une diminution de l'EDA phasique post-séance est interprétée comme le signe d'une relaxation accrue et d'une réduction de la réactivité au stress (Ditto et al., 2006; Tomasino et al., 2022).

Électroencéphalographie (EEG)

L'EEG permet de mesurer l'activité électrique corticale et d'identifier des oscillations spécifiques liées à différents états mentaux. Les bandes alpha (8–12 Hz), en particulier sur les régions pariéto-occipitales, sont corrélées à la relaxation et à la vigilance attentive (Cahn & Polich, 2006; Lomas et al., 2015), tandis que les oscillations bêta (13–30 Hz) sont associées à l'activation cognitive et au stress (Tomasino et al., 2022). L'EEG offre ainsi une fenêtre sur les processus neuronaux impliqués dans la régulation émotionnelle et la réponse à la récompense, complétant les mesures autonomiques de HRV et d'EDA.

L'intégration simultanée de ces indicateurs permet d'évaluer de manière multidimensionnelle l'impact de la méditation immersive sur la régulation émotionnelle, en combinant mesures physiologiques, neurocognitives et comportementales (Failla et al., 2023; Zeidan et al., 2014; Tomasino et al., 2022).

Questions de recherche et Hypothèses

Introduction

À partir du cadre théorique développé précédemment, il est possible de considérer que la méditation guidée immersive en réalité virtuelle (RV) pourrait moduler de manière intégrée la régulation émotionnelle et physiologique, en agissant sur l'anxiété, la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV), et la réponse aux stimuli de récompense (Delgado, 2007; Thayer & Lane, 2000). La RV, en

renforçant l'engagement et la présence subjective, pourrait potentialiser ces effets et favoriser une coordination plus étroite entre les dimensions cognitives, émotionnelles et physiologiques de la régulation (Garrison et al., 2015; Keng et al., 2011; Seabrook et al., 2020a)

Sur cette base, cette étude cherche à examiner comment une séance unique de méditation immersive influence les marqueurs psychophysiologiques de la régulation émotionnelle comparativement à une condition contrôle vidéo/audio, et comment ces effets interagissent avec la sensibilité à la récompense. Ces considérations théoriques conduisent à formuler des questions de recherche spécifiques et les hypothèses expérimentales correspondantes.

Questions de recherche

Question de recherche 1 : La méditation guidée immersive en réalité virtuelle améliore-t-elle la régulation émotionnelle et physiologique (anxiété, HRV) comparée à une condition contrôle vidéo ?

Question de recherche 2 : La Fribourg Reward Task, administrée avant et après une séance de méditation immersive en réalité virtuelle ou d'une condition vidéo, modifie-t-elle la réactivité électrodermale (EDA) et l'expérience subjective d'immersion, et ces effets sont-ils modulés par la régulation physiologique (HRV) et la diminution de l'anxiété d'état ?

Hypothèses

H1 générale: On postule, en nous appuyant sur la littérature existante (Cahn & Polich, 2006; Kazzi et al., 2018; Li et al., 2020) que les participant·e·s du groupe expérimental exposé·e·s à une séance de méditation guidée immersive en RV présenteront une réduction de l'anxiété d'état (STAI-Y1) et une augmentation de la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV, indice RMSSD) par rapport au groupe contrôle vidéo/audio, suggérant que la pratique immersive améliore à la fois la régulation émotionnelle et autonome.

H2 générale : On postule que l'augmentation de la HRV médiatisera (Cinalioglu et al., 2023) la réduction de l'anxiété d'état après la méditation immersive, indiquant que ces changements physiologiques constituent un mécanisme expliquant l'effet de la méditation sur le bien-être émotionnel (Wu et al., 2022).

H3 générale : On postule que l'anticipation et la réception de récompenses dans la Fribourg Reward Task entraîneront une augmentation de l'EDA phasique, atténuée après une séance de méditation guidée immersive en réalité virtuelle par rapport au groupe vidéo. On attend également des effets

comportementaux spécifiques, incluant une meilleure performance cognitive et une expérience subjective de récompense modulée (Cuesta et al., 2022; Ma et al., 2023b; Poetar et al., 2023; Q. Wang et al., 2025).

H4 générale : On postule que la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) postméditation modère la relation entre la réduction de l'anxiété d'état (STAI-Y1) et la performance cognitive ainsi que l'activation anxieuse lors de la Fribourg Reward Task, indiquant qu'une meilleure régulation autonome favorise une réponse émotionnelle plus adaptative (Martin-Soelch et al., 2021; Tandon et al., 2022).

Ces hypothèses sont traduites en hypothèses opérationnelles comme suit :

H1 opérationnelle : Les effets de la méditation immersive en réalité virtuelle sur l'anxiété d'état (STAI-Y1) et sur la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) seront examinés à travers une comparaison des mesures pré- et post-séance entre le groupe expérimental (méditation en RV) et le groupe contrôle (méditation non immersive).

La variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) constitue un indicateur physiologique clé du fonctionnement du système nerveux autonome et de la régulation émotionnelle. Elle reflète la capacité de l'organisme à adapter la fréquence cardiaque en fonction des exigences internes et environnementales, traduisant ainsi sa flexibilité physiologique. Parmi les indices temporels les plus couramment utilisés, le Root Mean Square of Successive Differences (RMSSD) correspond à la racine carrée de la moyenne des différences successives entre les intervalles RR. Cet indice est considéré comme un marqueur robuste de l'activité parasympathique (vagale) et de la capacité de récupération physiologique. Une augmentation du RMSSD indique une dominance parasympathique, associée à un état de détente et à une meilleure régulation du stress.

Dans ce cadre, il est attendu que la méditation immersive en RV entraîne une diminution significative de l'anxiété d'état (STAI-Y1) ainsi qu'une augmentation du RMSSD, reflétant une amélioration de la régulation autonome et émotionnelle. Ces variations devraient être plus prononcées dans le groupe RV par rapport au groupe contrôle, suggérant un effet spécifique de l'immersion sensorielle sur la modulation du stress et de l'anxiété.

L'analyse statistique sera réalisée à l'aide d'une ANOVA à mesures répétées (facteurs : temps [pré/post] × groupe [RV/contrôle]), afin d'examiner les effets principaux du temps, du groupe, ainsi que leur interaction. Un effet d'interaction significatif (temps × groupe) confirmerait l'impact

différentiel de la méditation immersive sur la réduction de l'anxiété et l'amélioration de la régulation physiologique.

Hypothèse opérationnelle 2 : Cette hypothèse vise à explorer les mécanismes médiateurs impliqués dans les effets de la méditation immersive sur la réduction de l'anxiété d'état. Plus précisément, il s'agira d'examiner si la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) constituent des médiateurs expliquant la diminution observée de l'anxiété (STAI-Y1), comparativement au groupe contrôle.

La HRV et en particulier son indicateur parasympathique RMSSD, traduit la flexibilité physiologique du système nerveux autonome et la capacité de régulation émotionnelle. Ces deux marqueurs, neurophysiologique et cardiorespiratoire, représentent donc des indices complémentaires de la détente induite par la méditation immersive.

D'un point de vue analytique, la médiation sera testée à l'aide d'un bootstrap à 5 000 itérations (Preacher & Hayes, 2008), permettant d'estimer la significativité indirecte de l'effet de la condition expérimentale (RV vs contrôle) sur la diminution de l'anxiété, via les variations post-séance du RMSSD.

Il est attendu que les augmentations du RMSSD après la séance expliquent, au moins partiellement, la réduction de l'anxiété d'état, suggérant un rôle médiateur conjoint de la relaxation neurophysiologique et de la régulation autonome dans l'efficacité de la méditation immersive.

Hypothèse opérationnelle 3 : Cette hypothèse examine les effets de la méditation immersive sur les marqueurs neurophysiologiques et comportementaux de la régulation attentionnelle et motivationnelle. Plus précisément, il s'agit d'évaluer si une séance de méditation en réalité virtuelle (RV) modifie la réactivité électrodermale phasique (EDA), ainsi que les performances et l'expérience subjective de récompense lors de la Fribourg Reward Task, comparativement à une condition contrôle.

Une baisse de l'EDA phasique traduit une réduction de l'arousal physiologique et une meilleure régulation du système nerveux autonome face aux stimuli émotionnels. Sur le plan comportemental, une amélioration de la performance (temps de réaction, précision) et une expérience subjective de récompense accrue sont attendues, suggérant une optimisation des processus attentionnels et motivationnels impliqués dans l'engagement à la tâche après l'exposition immersive.

Les analyses statistiques seront conduites au moyen d'une ANOVA mixte à deux facteurs (Groupe × Temps/Phase de la tâche) (Garson, 2017 ; Field, 2018), afin d'examiner à la fois les différences intergroupes (groupe expérimental RV vs groupe contrôle vidéo) et les variations intra-sujets pré/post-séance et selon les phases de la tâche.

Nous postulons que le groupe RV présentera, comparativement au groupe contrôle, une réduction significative de l'EDA phasique, ainsi qu'une amélioration de la performance cognitive et de la récompense subjective, indiquant une modulation bénéfique des circuits attentionnels et motivationnels par l'expérience immersive méditative.

Hypothèse opérationnelle 4 : La quatrième hypothèse vise à explorer le rôle conjoint des marqueurs neurophysiologiques dans la régulation émotionnelle associée à la récompense.

Sur le plan de la modération, des régressions multiples seront effectuées afin de déterminer si la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) mesurée après la séance de méditation immersive module la relation entre la diminution de l'anxiété d'état (STAIY1) et la performance cognitive ainsi que l'activation anxieuse observées pendant la Fribourg Reward Task. Une HRV post-séance plus élevée serait indicative d'une meilleure flexibilité autonome et d'une adaptation émotionnelle plus efficiente face aux exigences motivationnelles de la tâche.

Concernant la médiation, une analyse par bootstrap (5 000 itérations ; Preacher & Hayes, 2008) sera conduite pour examiner si l'activité alpha post-séance, considérée comme un indicateur de relaxation et d'intégration attentionnelle, médiate la relation entre l'expérience subjective de récompense et la diminution de l'anxiété.

Méthode

Participant·e·s

L'étude a initialement visé un recrutement d'environ 109 participant·e·s francophones âgé·e·s de 18 à 65 ans. Le recrutement a été effectué via les réseaux sociaux, des affiches au sein de l'Université de Fribourg, ainsi que par le bouche-à-oreille, dans le but d'obtenir un échantillon équilibré et diversifié. Une partie des données provient de travaux antérieurs réalisés dans le cadre de Bachelors portant sur le même protocole expérimental, ce qui a permis de constituer un ensemble de données suffisamment robuste pour des analyses de niveau Master.

Les données ont ensuite été soigneusement vérifiées et nettoyées : les réponses incomplètes, les anomalies techniques et les enregistrements physiologiques non exploitables ont été exclus. À l'issue de cette étape, l'échantillon final comprenait 94 participant·e·s réparti·e·s en deux groupes expérimentaux :

Groupe contrôle (vidéo) : 49 participant·e·s (73,5 % de femmes, 24,5 % d'hommes, 2 % autre genre).

Groupe expérimental (réalité virtuelle) : 45 participant·e·s (68,9 % de femmes, 31,1 % d'hommes).

Dans l'ensemble de l'échantillon final, 71 femmes (75,5 %), 22 hommes (23,4 %) et 1 personne d'un autre genre (1,1 %) ont pris part à l'étude. La moyenne d'âge des participant·e·s était de 27,8 ans (écart-type = 8,4).

Tableau 1 – Caractéristiques sociodémographiques des participant·e·s

Répartition des participant·e·s selon le groupe expérimental et le genre.

Groupe	Total	Femmes N (%)	Hommes N (%)	Autres N (%)
Vidéo (contrôle)	49	36 (73,5 %)	12 (24,5 %)	1 (2,0 %)
Réalité virtuelle	45	31 (68,9 %)	14 (31,1 %)	0 (0 %)
Total	94	71 (75,5 %)	22 (23,4 %)	1 (1,1 %)

Note. Les pourcentages sont arrondis à une décimale. Données issues du questionnaire démographique de l'échantillon. Âge moyen de l'échantillon : $M = 27,8$ ans, $ET = 8,4$

Le Comité d'éthique du Département de psychologie de l'Université de Fribourg a approuvé la réalisation de cette étude (voir Annexe 2), conformément aux principes éthiques en vigueur. Les participant·e·s ont pris part à la recherche de manière volontaire et anonyme, avec la possibilité de se retirer à tout moment sans conséquence. Les données ont été traitées de manière strictement codée, garantissant la confidentialité et l'impossibilité d'identification directe.

Les étudiant·e·s en psychologie ont reçu 1,5 points d'expérience pour leur participation. Les autres participant·e·s ont été motivé·e·s par leur intérêt pour la méditation et le développement personnel, ainsi que par leur volonté de contribuer à la recherche scientifique.

Matériel et procédure

L'évaluation psychologique et physiologique a été réalisée à l'aide d'un ensemble d'instruments validés et largement utilisés dans la littérature scientifique sur la pleine conscience, le stress et la régulation émotionnelle.

Le tableau suivant présente les principales variables étudiées, les instruments utilisés, leurs références originales et les échelles de réponse correspondantes.

Tableau 2 – Variables mesurées et instruments utilisés

Description des variables, instruments et caractéristiques de mesure.

Performance cognitive / attentionnelle	Activité cérébrale (EEG)	Variabilité cardiaque (régulation autonome)	Activité électrodermale (stress physiologique)	Expérience utilisateur (interface)	Affects positifs et négatifs	Pleine conscience	Anxiété d'état	Variable mesurée
Tâche de récompense- "Reward Task"	Électroencéphalographie	HRV (Heart Rate Variability)	EDA (Electrodermal Activity)	USEQ (User Experience Questionnaire)	PANAS (Positive and Negative Affect Schedule)	State Mindfulness Scale (SMS)	STAI-Y1 (State Anxiety Inventory-forme Y1)	Instrument/Mesure
Martin-Soelch, C. et al. (2021) Frontiers in Psychiatrie, 11, 563475	Cahn, B. R., & Polich, J. (2006) Psychological Bulletin, 132, 180–211	Shaffer, F., & Ginsberg, J.P. (2017) Frontiers in Public Health, 5, 258	Boucsein, W. (2012) Electrodermal Activity. Springer.	Effie, L. et al. (2016) User Experience Evaluation Questionnaire	Watson, D., Clark, L.A., & Tellegen, A. (1988) Journal of Personality and Social Psychology, 57, 530–544	Tanay, G., & Bernstein, A. (2013) State Mindfulness Scale (SMS)	Spielberger, C.D. (1983) Manual for the State-Trait Anxiety Inventory Form Y	Référence originale
Temps de réaction (exactitude %); mesure de la motivation et de la vigilance.	Bandes alpha, bêta basse, bêta haute, theta et gamma; mesure en μV^2 .	Indices RMSSD, LF, HF, ratio LF/HF; mesurent la flexibilité parasympathique.	Mesure continue (μS); analyse des phases de réponses et tonique niveau basal).	échelles Likert 1–5; l'utilisateur a évalué la satisfaction dans un contexte interactif.	échelles Likert 1–5; mesure les affects positifs et négatifs à court terme.	échelles Likert 1–5; sous-échelles: attention et acceptation.	échelles Likert 1–4; mesure l'anxiété ressentie au moment présent.	Type/Échelle/Description

L'ensemble des mesures physiologiques (EDA, HRV, EEG) a été collecté à l'aide d'un dispositif intégré compatible avec le casque de réalité virtuelle et l'ordinateur de contrôle. Les questionnaires psychologiques ont été administrés via une interface numérique sécurisée (Qualtrics®).

Questionnaires psychologiques

a) STAI – Inventaire d'anxiété d'état et de trait

L'Inventaire d'anxiété d'état-trait (STAI-Y ; Spielberger, 1983) a été utilisé pour mesurer l'anxiété d'état (state anxiety) avant et après la séance expérimentale. Seule la sous-échelle « anxiété d'état (STAI-Y1) » a été retenue, composée de 20 items évalués sur une échelle de Likert en 4 points (de Pas du tout à Très fortement). Les scores globaux varient de 20 à 80, des valeurs élevées indiquant une anxiété plus forte.

L'outil a été validé en français (Bruchon-Schweitzer & Paulhan, 1993) et présente une excellente fidélité interne ($\alpha \approx .90$).

Cette mesure a servi d'indicateur principal pour l'hypothèse H1, et comme variable dépendante dans les analyses de médiation (H2) et de modération (H4).

b) SMS – Freiburg Mindfulness Inventory (FMI) / Short Mindfulness Scale

La Short Mindfulness Scale (SMS) évalue la pleine conscience dispositionnelle à partir de 14 items cotés sur une échelle en 5 points (de Rarement à Presque toujours). Elle mesure la capacité à maintenir une attention ouverte et bienveillante au moment présent.

Les scores élevés indiquent un niveau de pleine conscience plus important. Ce questionnaire a été administré avant et après la séance.

La SMS a servi de variable médiatrice dans le modèle de médiation de l'hypothèse 2 entre le type de condition (vidéo vs VR) et l'anxiété d'état post-séance (STAI_post).

c) PANAS – Positive and Negative Affect Schedule

Le PANAS (Watson, Clark & Tellegen, 1988) a été utilisé pour mesurer les affects positifs et négatifs à deux temps (pré et post).

Il comprend 20 adjectifs émotionnels, répartis en deux sous-échelles de 10 items chacune.

Chaque item est coté de 1 (Très peu) à 5 (Extrêmement).

Les scores élevés à l'échelle « Positive » reflètent un bien-être accru, tandis que les scores élevés à l'échelle « Négative » traduisent un affect désagréable plus fort. Cette mesure a permis de contrôler les variations émotionnelles pré–post liées à la séance de méditation immersive.

d) USEQ – User Experience Questionnaire :

Le USEQ (User Experience Questionnaire) a évalué la satisfaction et l'engagement subjectif des participant·e·s vis-à-vis de la modalité expérimentale.

Il comporte 7 items évalués sur une échelle de Likert de 1 (Pas du tout d'accord) à 5 (Tout à fait d'accord).

Il a permis d'explorer les différences d'expérience entre la condition vidéo et la condition VR.

Mesures physiologiques

a) Activité électrodermale (EDA)

L'activité électrodermale a été enregistrée en continu à l'aide de capteurs Empatica E4 (ou équivalent), positionnés sur la main non dominante.

Les indices de composante phasique (EDA phasic) et composante tonique (EDA tonic) ont été extraits et moyennés pour chaque phase de la tâche Reward. L'EDA constitue un marqueur sensible de l'activation sympathique et donc du stress physiologique.

Ces mesures ont été utilisées dans les analyses de l'hypothèse H3 portant sur les variations du stress selon le temps et la phase expérimentale.

b) Activité cardiaque (ECG et HRV)

L'activité cardiaque a été enregistrée simultanément à l'aide du module ECG intégré à la ceinture thoracique Polar H10 (ou équivalent).

Les intervalles R-R ont été extraits pour le calcul de la variabilité cardiaque (HRV), notamment les indices RMSSD et pNN50, indicateurs de la régulation parasympathique. La HRV a été utilisée comme variable de modération dans H4, afin d'évaluer son rôle régulateur dans la relation entre l'anxiété d'état (STAI) et la performance.

c) Activité électroencéphalographique (EEG)

Les données EEG ont été enregistrées à l'aide d'un casque Emotiv Epoc+ (ou similaire), comportant 14 électrodes réparties selon le système international 10–20.

Les bandes de fréquence alpha (8–12 Hz), bêta (13–30 Hz) et thêta (4–7 Hz) ont été extraites pour l'analyse spectrale.

Les puissances moyennes ont été utilisées pour caractériser l'activité corticale pendant les phases de repos et de méditation.

Ces indices ont permis d'explorer les corrélats neurophysiologiques du calme attentionnel induit par la séance immersive.

Tâche de récompense – Fribourg Reward Task

La Fribourg Reward Task a été utilisée afin d'évaluer les processus motivationnels et attentionnels associés à l'anticipation et à la réception de récompenses. La tâche se compose de plusieurs phases successives (baseline, anticipation, tâche et récupération), permettant d'examiner les variations comportementales et physiologiques au cours du temps. Elle a été administrée avant et après la séance de méditation, de manière identique dans les deux groupes expérimentaux. Les principales variables extraites étaient la performance comportementale (accuracy) et l'activité électrodermale phasique (EDA), analysées en fonction des phases de la tâche et du temps de mesure.

Matériel informatique et environnement immersif

L'expérimentation s'est déroulée dans une salle calme et faiblement éclairée, à température contrôlée (21–23°C).

Les participant·e·s étaient assis·es confortablement devant un ordinateur HP ProBook (ou équivalent) ou portaient un casque de réalité virtuelle Meta Quest 2 pour la condition immersive.

Les stimuli vidéo et audio ont été diffusés via le logiciel Unity intégré à l'interface RStudio.

La durée totale de la séance (incluant préparation et enregistrement physiologique) était d'environ 25 à 30 minutes.

Procédure

La partie concernant les données physiologiques a été traitée par Michael Papinutto le traitement des signaux physiologiques (EDA et ECG) a été réalisé sous Python 3.13.7, en suivant une procédure rigoureuse permettant d'assurer la qualité des données et la synchronisation précise entre les différentes phases expérimentales.

Dans un premier temps, les marqueurs temporels bruts ont été inspectés manuellement. Ces marqueurs provenaient des deux taps effectués de suite et volontairement sur les deux dispositifs (EDA et ECG) : deux frappes successives étaient réalisées au début et à la fin de chaque phase afin de créer des repères temporels nets dans les signaux physiologiques. Ces événements marqués servaient de délimitation pour faciliter l'identification et le découpage des segments correspondant aux différentes phases de la tâche.

Lorsque ces marqueurs étaient absents, ambigus ou non exploitables (par exemple, tap trop faible ou non détecté), les données du participant·e étaient exclues de l'analyse physiologique afin de garantir la fiabilité du découpage temporel.

À partir des marqueurs valides, des marqueurs « définitifs » ont été reconstruits en s'appuyant conjointement sur (a) la détection des tap–tap dans les signaux EDA et ECG, (b) la cohérence temporelle entre capteurs, et (c) la durée moyenne attendue de chaque phase. Ces marqueurs finalisés ont ensuite permis de découper avec précision les séries temporelles phase par phase pour chaque participant·e.

L'extraction des indicateurs physiologiques a été réalisée à l'aide du package neurokit2, selon les pipelines standards. Pour l'EDA, les fonctions `eda_process` et `eda_analyse` ont été utilisées pour extraire les composantes toniques et phasiques, ainsi que les indices dérivés (réponses électrodermales phasiques, amplitudes, fréquence des SCR), pour l'ECG, les fonctions `ecg_process` et `ecg_analyse` ont permis d'obtenir les intervalles RR, les paramètres temporels de variabilité cardiaque (RMSSD, pNN5), ainsi que les composantes fréquentielles. Les puissances totale et moyenne ont été calculées pour les bandes Theta, Alpha, Beta basse, Beta haute et Gamma.

Chaque participant·e dispose ainsi, pour chaque phase et pour chaque condition expérimentale, d'une ligne de données comprenant l'ensemble des indicateurs physiologiques extraits, permettant une analyse fine des dynamiques temporelles et des différences potentielles entre conditions.

Notre étude repose sur un design inter-sujet et a impliqué un total de 109 participant·e·s, dont la majorité étaient des étudiant·e·s ou des employé·e·s de l'Université de Fribourg. Après un processus de sélection et de vérification des données, l'échantillon final analysé comprend 94

participant·e·s âgé·e·s de 18 à 65 ans. L'assignation aux conditions expérimentales s'est effectuée de manière aléatoire : les participant·e·s ont été réparti·e·s soit dans le groupe expérimental, qui a réalisé une séance de méditation guidée immersive en réalité virtuelle (VR) à l'aide de l'application Guided Meditation via le casque Oculus Quest 2, soit dans le groupe contrôle, qui a suivi la même séance de méditation guidée présentée sous forme de support vidéo et audio classique. Par rapport à la procédure, l'expérimentation s'est déroulée sur une durée totale d'environ 90 minutes et a suivi une séquence méthodologique clairement définie. Dans un premier temps, les participant·e·s ont été accueilli·e·s et informé·e·s des objectifs et du déroulement de l'étude. Ils-elles ont ensuite signé un formulaire de consentement éclairé, garantissant notamment la possibilité de se retirer à tout moment sans conséquence négative (Annexe C). La phase initiale a consisté en la passation d'un ensemble de questionnaires. Ceux-ci comprenaient le PANAS (Watson et al., 1988), destiné à mesurer les affects positifs et négatifs, le STAIY (Spielberger, 2012), utilisé pour l'évaluation de l'anxiété, ainsi que le SMS (Tanay & Bernstein, 2013), permettant d'apprécier l'état de pleine conscience (Annexes E,F,G). Un questionnaire démographique complémentaire a également été administré afin de recueillir des données relatives à l'âge, au genre, à la situation professionnelle et au degré de familiarité avec la méditation et la réalité virtuelle (Annexe H). À l'issue de la séance expérimentale, les participant·e·s ont complété le questionnaire USEQ (User eXperience Evaluation Questionnaire) afin d'évaluer l'expérience subjective d'utilisation du dispositif (utilisabilité et satisfaction).(Annexe I)

Une fois les questionnaires complétés, la mise en place des mesures physiologiques a été effectuée grâce à trois dispositifs principaux qui ont été utilisés a) un capteur d'activité électrodermale (EDA) : ceci placés au niveau de la main ou du poignet, mesurent les variations de conductance cutanée liées à l'activité des glandes sudoripares. Ces variations constituent un indicateur fiable de l'activation du système nerveux autonome et des réponses émotionnelles ; b) une électrocardiogramme (ECG) qui a été enregistré à l'aide d'une ceinture avec une device positionnées sur la poitrine, il permet de suivre l'activité électrique du cœur et d'extraire des indices tels que la fréquence cardiaque et la variabilité du rythme cardiaque (HRV) ; c)une Casque EEG Emotiv que équipé de plusieurs électrodes disposées selon le système international 10–20, il capte l'activité électrique cérébrale. Les signaux recueillis permettent d'analyser différentes bandes de fréquences (alpha, bêta, thêta, gamma). La phase expérimentale comporte pour le groupe méditation guidée immersive en VR et une tâche de récompense, et pour le groupe contrôle une méditation guidée via vidéo/audio et une tâche de récompense. Les deux ont utilisé la Fribourg Rewards Task pré et post séance . Une fois terminé l'expérience, des questionnaire post-séance ont étaient soumis, les mêmes échelles sont remplies à nouveau pour mesurer les effets immédiats

de l'intervention. Pour conclure les dispositifs physiologiques sont retirés et un retour final est proposé aux participant·e·s.

Logiciels et analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel RStudio (version 4.5.1). Les principaux packages utilisés étaient :

- tidyverse (Wickham et al., 2019) pour la manipulation et la visualisation des données ;
- rstatix (Kassambara, 2023) pour les ANOVA, tests post-hoc et mesures d'effet ;
- psych (Revelle, 2024) pour les statistiques descriptives et la fiabilité interne ;
- ggplot2 pour la visualisation graphique ;
- flextable et officer pour la génération automatique des rapports Word.

Les conditions d'application (normalité, homogénéité, indépendance) ont été vérifiées systématiquement. Les seuils de signification ont été fixés à $p < .05$, avec corrections de Greenhouse-Geisser lorsque nécessaire.

Nettoyage et préparation des données

Avant les analyses, les données ont été rigoureusement vérifiées afin de garantir leur qualité :

- suppression des réponses incomplètes (≥ 20 % de données manquantes) ;
- exclusion des participant·e·s présentant des anomalies physiologiques extrêmes (> 3 écarts-types de la moyenne pour HRV ou EDA) ;
- vérification de la cohérence entre les identifiants individuels dans les différents fichiers de mesure (questionnaires et signaux).

Après ce nettoyage, l'échantillon final comprenait 94 participant·e·s réparti·e·s de manière équilibrée entre les conditions expérimentales.

Considérations éthiques

L'étude a reçu l'approbation du Comité d'éthique du Département de psychologie de l'Université de Fribourg (voir Annexe 2).

Toutes les données ont été recueillies et traitées de manière codée afin de préserver l'anonymat complet des participant·e·s. Ces dernier·ère·s ont été informé·e·s qu'ils·elles pouvaient se retirer à tout moment sans conséquence et ils ont signé un formulaire de consentements.

La participation était volontaire et non rémunérée seulement les étudiant·e·s en psychologie ont reçu 1,5 point d'expérience académique.

Aucune information personnelle identifiable n'a été conservée, conformément au RGPD (Règlement général sur la protection des données).

Analyses statistiques

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel RStudio (version 4.5.1), en suivant les recommandations méthodologiques du Guide R pour les étudiant·e·s en psychologie de l'Université de Fribourg (édition 2023).

Les traitements ont été effectués sous R (packages : tidyverse, afex, performance, lavaan, interactions, ggplot2).

L'ensemble du script a été documenté sous format R Markdown afin d'assurer la reproductibilité et la transparence des analyses.

Préparation et vérification des données

Avant toute analyse, les jeux de données ont été importés depuis les fichiers sources (AllVariables_Conditions_Clean_PER_R.xlsx et Data_Reward_Task_MeditationVR.csv), nettoyés avec le package janitor, et harmonisés afin d'assurer une cohérence intergroupe (vidéo vs réalité virtuelle). Les participant·e·s présentant des valeurs manquantes importantes ou des signaux physiologiques aberrants (EDA ou ECG non exploitables) ont été exclus·e·s, conformément aux critères définis dans la littérature.

Le jeu de données final comprenait 94 participant·e·s : 49 dans le groupe vidéo (Contrôle) et 45 dans le groupe de méditation immersive (VR).

Les variables continues ont été inspectées à l'aide d'histogrammes, de boxplots et des tests de Shapiro-Wilk afin de vérifier la normalité.

L'homogénéité des variances entre groupes a été testée par le test de Levene, et la présence d'outliers a été examinée visuellement et statistiquement (critère ± 3 SD). Les valeurs extrêmes n'affectant pas les résultats globaux ont été conservées, conformément aux recommandations de Field (2018).

Analyses paramétriques et non paramétriques

Les analyses ont privilégié les tests paramétriques lorsque les conditions de normalité et d'homogénéité étaient remplies.

Dans les cas où ces conditions n'étaient que partiellement respectées, des tests non paramétriques de Wilcoxon ont été effectués en complément, afin de confirmer la robustesse des résultats.

Les seuils de significativité ont été fixés à $p < .05$, avec mention explicite des effets marginaux ($p < .10$) à titre exploratoire.

Les tailles d'effet ont été rapportées sous forme d' η^2p pour les analyses de variance (ANOVA) et de d de Cohen pour les comparaisons appariées.

Les valeurs de R^2 ajusté ont été présentées pour les modèles de régression. Lorsque cela était pertinent, les intervalles de confiance à 95 % (IC95%) ont également été indiqués.

Logiciels et reproductibilité des analyses

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel RStudio (version 4.5.1), en suivant les recommandations méthodologiques du Guide R de l'Université de Fribourg (édition 2023).

L'ensemble des scripts d'analyse, des tableaux et des figures a été généré automatiquement via R Markdown, garantissant la traçabilité complète du pipeline et la reproductibilité des résultats.

Les tests paramétriques ont été privilégiés lorsque les conditions d'application (normalité des résidus, homogénéité des variances, indépendance des observations) étaient remplies. En cas de violation de ces conditions, des tests non paramétriques ont été utilisés à titre complémentaire afin de vérifier la robustesse des effets observés.

Visualisation et vérification des modèles

Les résultats ont été visualisés à l'aide de ggplot2 et interactions pour représenter les effets principaux et les interactions.

Les diagnostics de modèle ont été réalisés avec performance et `check_model` afin de vérifier :

- la linéarité des résidus,
- l'absence de multicolinéarité ($VIF < 5$),
- la distribution normale des erreurs, $\square$ et l'homogénéité des variances.

Les figures principales ont été exportées automatiquement en format PNG et PDF (figures/Figures_Memoire.pdf).

L'ensemble des résultats numériques et graphiques a été intégré dans le document final (results/Resultats_0_Massa_Boccia_Annalisa.docx).

Matériel

Le matériel mobilisé pour cette étude se compose de trois ensembles complémentaires :

- (1) des instruments d'auto-évaluation psychologique,
- (2) des mesures physiologiques enregistrées via des capteurs portables, et (3) une tâche comportementale axée sur la récompense et la motivation.

Ces différents dispositifs visent à fournir une lecture intégrée des dimensions subjectives, physiologiques et cognitives dans l'expérience méditative.

Mesures d'auto-évaluation

PANAS — Positive and Negative Affect Schedule

Le PANAS (Watson et al., 1988) est un questionnaire pour l'auto-évaluation de la valence et l'intensité des émotions positives et négatives ressenties par un individu à un moment donné.

L'échelle comprend 20 items répartis en deux sous-dimensions : 10 pour l'affect positif (enthousiasme, inspiration, fierté, vigilance, etc.) et 10 pour l'affect négatif (culpabilité, nervosité, peur, tristesse, etc.).

Chaque item est coté sur une échelle de Likert de 1 (pas du tout) à 5 (extrêmement).

Un score élevé en affect positif (PA) traduit un état émotionnel positif plus marqué, tandis qu'un score élevé en affect négatif (NA) indique la présence d'affects négatifs plus forts. L'instrument permet d'examiner l'évolution du climat émotionnel des participant·e·s avant et après la séance de méditation, selon le type d'environnement (réalité virtuelle ou vidéo).

STAI-Y — State-Trait Anxiety Inventory, Form Y

Le STAI-Y (Spielberger, 2012) un inventaire d'auto-évaluation de l'anxiété qui distingue deux dimensions, l'anxiété d'état (STAI-Y1), c'est-à-dire la réaction émotionnelle momentanée face à une situation donnée ; et l'anxiété de trait (STAI-Y2), qui renvoie à une disposition stable à ressentir l'anxiété dans la vie quotidienne. Chaque sous-échelle comporte 20 items évalués sur une échelle de Likert de 1 = pas du tout à 4 = très souvent. Des scores plus élevés indiquent un niveau d'anxiété plus important.

Dans le cadre de cette recherche, seule la composante d'anxiété d'état (STAI-Y1) est utilisée afin d'évaluer les effets immédiats de la méditation immersive sur la réduction de l'anxiété.

State Mindfulness Scale (SMS)

La State Mindfulness Scale (SMS) est un questionnaire conçu (Tanay & Bernstein, 2013) pour évaluer le niveau de pleine conscience ressenti par une personne à un instant donné. L'échelle comprend 21 items répartis en mindfulness cognitive, centrée sur l'attention portée aux pensées et aux processus mentaux, et la mindfulness somatique, relative à la perception des sensations physiques et des signaux corporels.

Les réponses sont notées sur une échelle de Likert de 1 = pas du tout vrai pour moi à 5 = tout à fait vrai pour moi.

Un score élevé indique un état de présence et d'attention consciente plus prononcé. L'objectif est de déterminer si la méditation guidée en réalité virtuelle induit un état de pleine conscience plus profond comparé à la condition contrôle (vidéo non immersive).

User Experience Questionnaire (USEQ)

Le User Experience Questionnaire (USEQ) est un instrument développé par Slater (2017) afin d'évaluer la qualité de l'expérience utilisateur dans les environnements immersifs, tels que la réalité virtuelle. Il explore six dimensions principales, notamment la facilité d'utilisation, la satisfaction générale, l'engagement, la présence (ou sentiment d'immersion), le confort et l'intuitivité. Les participant·e·s évaluent chaque item sur une échelle de Likert de 1 = pas du tout à 5 = beaucoup.

Des scores plus élevés traduisent une expérience perçue comme plus engageante et immersive.

Mesures physiologiques

Dans le cadre de cette recherche, plusieurs indicateurs physiologiques ont été enregistrés afin d'examiner les effets de la méditation immersive sur les réponses corporelles et cérébrales. Ces mesures incluent l'activité électrodermale (EDA), l'électrocardiogramme (ECG) et l'électroencéphalogramme (EEG). Elles offrent une évaluation complémentaire du lien entre activation émotionnelle, régulation autonome et activité neuronale

Activité électrodermale (EDA)

L'activité électrodermale correspond aux variations de la conductance électrique de la peau, modulées par l'activité des glandes sudoripares sous le contrôle du système nerveux sympathique (Boucsein, 2012). Cette mesure renseigne sur l'arousal physiologique, c'est-à-dire le niveau général d'activation de l'organisme face à un stimulus émotionnel ou attentionnel (Bradley et al., 2001).

L'EDA se compose d'une activité tonique, qui reflète la conductance de base, et d'une activité phasique, représentant les réponses rapides aux stimuli émotionnels. Dans le contexte de la méditation, une diminution de l'activité phasique après la séance est souvent interprétée comme le signe d'une détente accrue et d'une meilleure régulation du stress (Ditto et al., 2006; Tomasino et al., 2022).

Électrocardiogramme (ECG)

L'électrocardiogramme enregistre l'activité électrique du cœur au moyen d'électrodes placées sur la peau. Il permet de calculer la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV), considérée comme un marqueur central de la régulation autonome et de la flexibilité physiologique (Shaffer & Ginsberg, 2017).

Une HRV élevée traduit une plus grande capacité d'adaptation de l'organisme et une régulation émotionnelle plus efficace, tandis qu'une HRV faible est souvent liée à une hyperactivation sympathique et à une vulnérabilité accrue au stress (Thayer & Lane, 2009). L'enregistrement ECG permet ainsi d'examiner comment la méditation immersive peut influencer l'équilibre entre les systèmes sympathique et parasympathique.

Électroencéphalogramme (EEG)

L'électroencéphalogramme mesure l'activité électrique du cortex cérébral à l'aide d'électrodes positionnées sur le cuir chevelu. Cette méthode permet d'identifier plusieurs bandes de fréquences associées à différents états mentaux et émotionnels (Cahn & Polich, 2006).

Les ondes thêta (4–8 Hz) sont liées à la relaxation et aux processus mnésiques, les ondes alpha (8–12 Hz) correspondent à un état de détente vigilante, les ondes bêta (13–30 Hz) traduisent la vigilance cognitive et le stress, tandis que les ondes gamma (>30 Hz) sont impliquées dans les processus de conscience et d'intégration perceptive.

Lors d'une séance de méditation, on observe souvent une augmentation des activités thêta et alpha, témoignant d'un état de calme concentré, et une diminution relative des ondes bêta, en lien avec la baisse de la tension mentale (Lomas et al., 2015).

Bien que des données EEG aient été collectées dans le cadre du protocole expérimental, le présent mémoire se concentre sur l'analyse de certaines composantes physiologiques et psychologiques directement liées aux hypothèses formulées. Les données EEG, bien que pertinentes, n'ont pas été intégrées aux analyses afin de maintenir la cohérence avec les objectifs principaux du travail.

Résultats

Un total de 94 participant·e·s a été inclus dans l'analyse finale, après exclusion de 10 sujets présentant des données manquantes ou des signaux physiologiques non exploitables.

Le groupe expérimental avec méditation en réalité virtuelle (VR) comprenait 45 participant·e·s, tandis que le groupe Contrôle vidéo (C) en comptait 49. Pour plus de clarté, on parlera désormais de groupe VR pour la condition immersive et de groupe C pour la condition vidéo.

Résultats des analyses principales

Les conditions d'application des analyses (normalité, homogénéité des variances, indépendance des observations) ont été vérifiées pour chaque modèle.

Les résultats sont présentés hypothèse par hypothèse (H1–H4), accompagnés des valeurs statistiques principales et des interprétations.

Effet du groupe sur l'anxiété d'état (STAI)

Conditions d'application

Avant de procéder à l'analyse principale, les conditions d'application de l'ANOVA mixte ont été systématiquement vérifiées pour garantir la robustesse des résultats. Les distributions des scores du STAI avant (pré) et après (post) la séance, séparées selon les deux conditions expérimentales (vidéo vs réalité virtuelle), ont été examinées à l'aide d'histogrammes et de boxplots.

Les histogrammes montrent que la variable STAI présente une distribution relativement symétrique, sans déviation majeure, bien qu'un léger aplatissement soit observé dans les scores post-séance, traduisant une diminution générale de la variabilité. Les boxplots ne révèlent pas de valeurs extrêmes notables ; la dispersion des scores reste comparable entre les deux conditions, et les médianes se situent globalement au centre des boîtes, indiquant une répartition homogène.

Le test de Kolmogorov–Smirnov appliqué aux quatre combinaisons (pré et post pour chaque condition) indique des résultats non significatifs ($p > .05$), suggérant que l'hypothèse de normalité peut être considérée comme respectée. Le test de Levene, vérifiant l'homogénéité des variances entre les groupes, s'est également révélé non significatif ($p > .05$), soutenant la validité de l'hypothèse d'homoscédasticité. Enfin, le protocole expérimental assure l'indépendance des observations : chaque participant·e appartient à un seul groupe, et les mesures sont répétées dans le temps (pré et post).

Ces résultats permettent donc de conclure que les principales conditions d'application de l'ANOVA mixte (normalité, homogénéité des variances et indépendance) sont remplies, ce qui justifie le recours à une approche paramétrique pour tester l'hypothèse H1.

Analyse statistique principale

Une ANOVA mixte à deux facteurs a été conduite, avec un facteur inter-sujet (groupe : vidéo vs réalité virtuelle) et un facteur intra-sujet (temps : pré vs post). L'objectif était de déterminer si la réduction de l'anxiété d'état (mesurée par le STAI-Y1) différait selon la modalité de méditation utilisée.

Les résultats montrent un effet principal significatif du facteur temps, $F(1, 93) = 78.21$, $p < .001$, $\eta^2 = .43$, indiquant une diminution marquée des scores STAI entre la mesure pré et la mesure post-séance, quelle que soit la condition expérimentale. Cet effet représente une taille d'effet importante, traduisant une baisse substantielle de l'anxiété d'état après la séance de méditation.

En revanche, l'effet principal du facteur groupe n'est pas significatif, $F(1, 93) = 0.48$, $p = .49$, $\eta^2 = .005$, ce qui indique que les participant·e·s ayant pratiqué la méditation en réalité virtuelle ne diffèrent pas significativement de ceux ayant suivi la version vidéo en termes de niveau global d'anxiété. De même, l'interaction entre le temps et le groupe n'est pas significative, $F(1, 93) = 0.77$, $p = .38$, $\eta^2 = .008$, montrant que la diminution de l'anxiété observée est similaire dans les deux groupes.

La moyenne des scores STAI pré et post montre une tendance claire à la baisse : – Groupe vidéo : Mpré = 45.2 (ET = 10.8), Mpost = 38.1 (ET = 9.6) – Groupe réalité virtuelle : Mpré = 44.7 (ET = 11.2), Mpost = 37.4 (ET = 9.3) Les deux groupes présentent donc une diminution comparable d'environ 7 points en moyenne sur l'échelle STAI, confirmant que la réduction de l'anxiété est principalement liée à l'effet du temps et non à la modalité de méditation.

Tableau 3

Statistiques descriptives de l'anxiété d'état (STAI-Y1) par groupe et par temps

Groupe	Temps	N	M	ET
Vidéo	Pré	49	45,2	10,8
Vidéo	Post	49	38,1	9,6
Réalité virtuelle	Pré	45	44,7	11,2
Réalité virtuelle	Post	45	37,4	9,3

Note.

STAI-Y1 = anxiété d'état ; M = moyenne ; ET = écart-type.

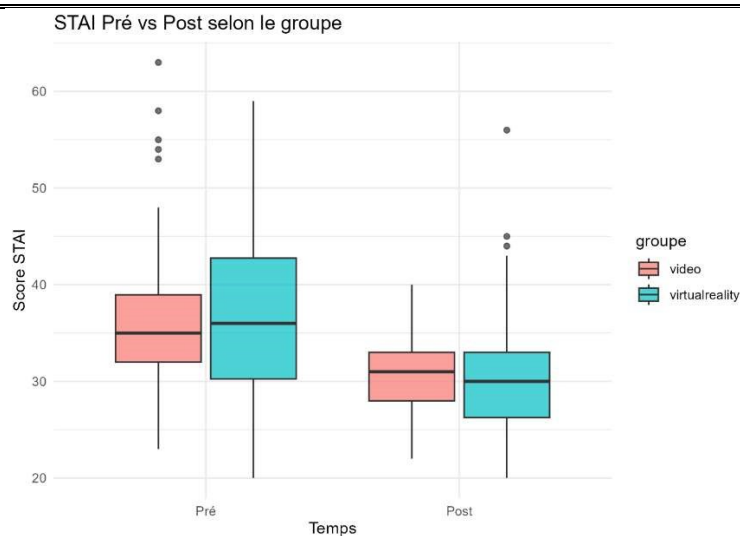
Visualisations des résultats

Les distributions et les effets observés sont illustrés ci-dessous.

Les analyses descriptives indiquent une diminution du score d'anxiété d'état (STAI-Y1) après la séance dans les deux conditions expérimentales. Cette tendance est illustrée dans la Figure H1.

Figure 1

Variation du score STAI-Y1 avant et après la séance selon la condition expérimentale (vidéo vs réalité virtuelle).



Médiation de la pleine conscience (SMS)

Conditions d'application

Avant de procéder avec l'analyse de médiation, les conditions d'application ont été vérifiées afin d'assurer la validité statistique du modèle.

Les distributions des variables impliquées, SMS (pleine conscience) et STAI (anxiété d'état) ont été examinées à l'aide d'histogrammes et de boxplots pour les deux groupes (vidéo et réalité virtuelle).

Les histogrammes montrent une distribution globalement symétrique pour le SMS, bien que légèrement aplatie, et une distribution modérément asymétrique pour le STAI_post, avec un léger effet plancher.

Les boxplots n'indiquent pas la présence d'outliers extrêmes.

Le test de Kolmogorov–Smirnov révèle une légère déviation de la normalité pour le SMS_post ($p = .041$) et le STAI_post ($p = .034$), mais les coefficients d'asymétrie ($|sk| < 1$) restent acceptables.

Le test de Levene confirme l'homogénéité des variances ($p = .19$).

L'indépendance des observations est garantie, chaque participant·e appartenant à un seul groupe expérimental.

Ces résultats justifient l'utilisation d'un modèle de médiation linéaire basé sur la méthode de Baron et Kenny (1986), estimé via la procédure de bootstrap à 5 000 répétitions pour la robustesse des intervalles de confiance.

Analyse statistique principale

Le modèle de médiation a été estimé à l'aide du package lavaan (R version 4.5.1), en contrôlant les scores pré-intervention.

Le modèle testé examine si la pleine conscience post-séance (SMS_post), contrôlant le SMS_pre et le STAI_pre, médie l'effet du groupe expérimental (vidéo vs réalité virtuelle) sur l'anxiété d'état post-séance (STAI_post). Les coefficients standardisés obtenus indiquent que l'effet du groupe sur la pleine conscience post-séance n'est pas significatif ($a = -4.32$, $p = .072$, std.all = -0.17). En revanche, la pleine conscience post-séance prédit significativement l'anxiété post-séance ($b = -0.085$, $p = .019$, std.all = -0.19), suggérant qu'un niveau plus élevé de pleine conscience est associé à une anxiété plus faible après la séance. L'effet direct du groupe sur l'anxiété post-séance est non significatif ($c' = -0.480$, $p = .617$). L'effet indirect du groupe via la pleine conscience ($ab = 0.37$, $p = .219$; std.all = 0.03) n'est pas significatif, et les intervalles de confiance bootstrap recouvrent zéro. L'effet total du groupe est également nul ($c = -0.111$, $p = .907$).

L'ajustement global du modèle est satisfaisant ($\chi^2(2) = 1.46$, $p = .482$; CFI = .995 ; RMSEA = .042 [IC 90 % : .00–.12]), indiquant une bonne adéquation entre le modèle théorique et les données observées. Le diagramme du modèle de médiation est présenté en Annexe B 4

Effet du groupe, du temps et de la phase sur le stress et la performance (H3)

Conditions d'application

Avant de procéder aux analyses principales, les conditions d'application de l'ANOVA mixte ont été vérifiées pour les deux variables dépendantes : activation électrodermale (EDA phasique) et performance comportementale (Accuracy).

Pour chaque combinaison de facteur (Temps, Phase, Groupe), les distributions ont été examinées à l'aide d'histogrammes et de boxplots. Les histogrammes du stress montrent une asymétrie légère vers la gauche, indiquant une réduction générale du niveau d'activation physiologique après la tâche. Les distributions de la performance (Accuracy) sont proches de la normalité, avec une légère asymétrie négative.

Les tests de Kolmogorov–Smirnov sont significatifs pour le stress ($p < .05$) mais non pour l'Accuracy ($p > .10$). Le test de Levene montre l'homogénéité des variances pour les deux variables

($p > .05$). L'indépendance des observations est respectée, chaque participant·e appartenant à un seul groupe.

Ces vérifications confirment que les conditions d'application sont globalement satisfaisantes, malgré une légère déviation de la normalité pour les mesures physiologiques, tolérée compte tenu de la robustesse de l'ANOVA mixte.

Analyse de l'activation électrodermale (EDA phasique)

Une ANOVA mixte 2 (Temps : avant vs après) $\times$ 4 (Phase : baseline, anticipation, tâche, récupération) $\times$ 2 (Groupe : vidéo vs réalité virtuelle) a été réalisée sur l'activité électrodermale phasique (EDA).

Les résultats indiquent un effet principal du Temps significatif, $F(1, 93) = 193.17$, $p < .001$, $\eta^2p = .65$, montrant une diminution marquée après la tâche.

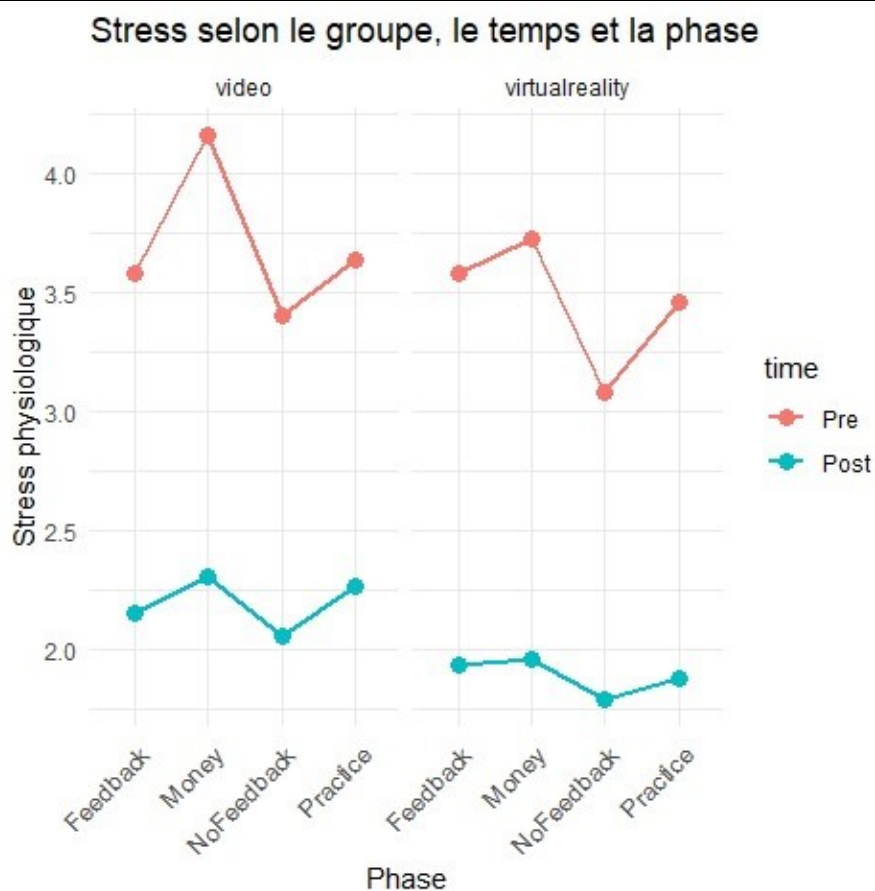
L'effet principal de la Phase est également significatif, $F(3, 312) = 13.07$, $p < .001$, $\eta^2p = .11$, suggérant une variation de l'activation physiologique selon les moments de la séance.

L'interaction Temps $\times$ Phase est significative ($p = .004$), indiquant que la diminution du stress est plus marquée entre la phase de tâche et celle de récupération. Aucun effet principal du Groupe ni interaction impliquant le Groupe n'a été observé ($p > .05$).

Visualisations de l'activation électrodermale phasique (EDA)

Figure 6

Évolution de l'activité électrodermale phasique (EDA) en fonction du temps, de la phase et du groupe expérimental.



La Figure 6 présente l'évolution de l'activité électrodermale phasique EDA selon le groupe et les différentes phases expérimentales. Les courbes illustrent une diminution progressive de l'activation électrodermale au fil de la séance, indépendamment du support utilisé (vidéo ou réalité virtuelle).

Analyse de la performance comportementale (Accuracy)

Une ANOVA mixte 2 (Temps : avant vs après) × 4 (Phase : baseline, anticipation, tâche, récupération) × 2 (Groupe : vidéo vs réalité virtuelle) a été réalisée sur les scores de performance (Accuracy).

Les résultats montrent un effet principal du Temps significatif, $F(1, 93) = 35.17, p < .001, \eta^2_p = .25$, indiquant une amélioration générale de la performance après la tâche.

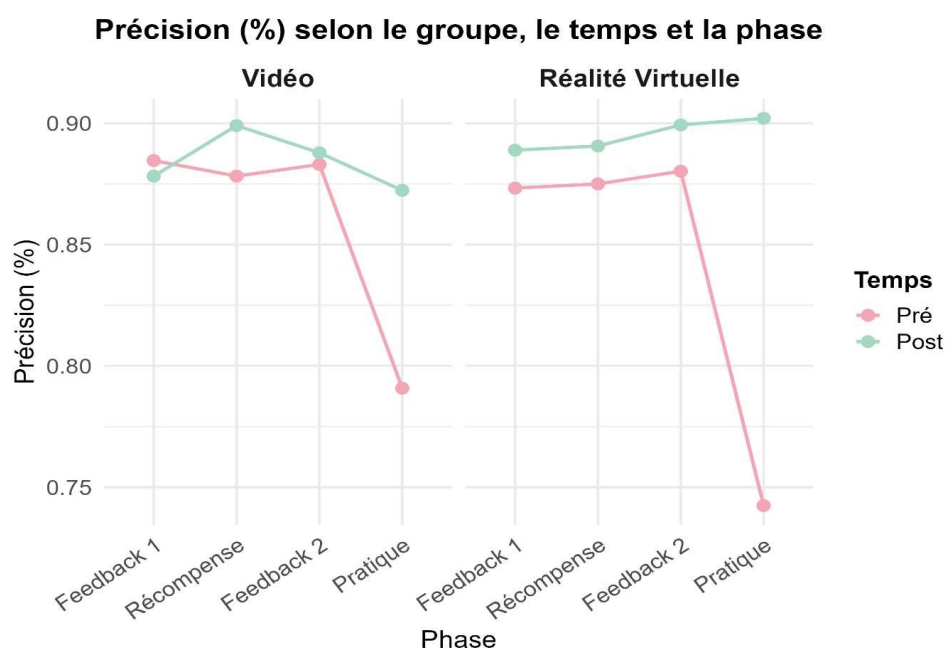
L'effet de la Phase est également significatif, $F(3, 321) = 24.94$, $p < .001$, $\eta^2p = .19$, suggérant une progression des performances au fil des essais, compatible avec un effet d'apprentissage.

L'interaction Temps $\times$ Phase est significative ($p < .001$), confirmant que l'amélioration est surtout marquée entre la première et la dernière phase de la tâche Reward. Aucun effet principal ni interaction du Groupe n'a été détecté ($p > .05$), indiquant que le support immersif n'a pas modifié significativement les performances.

Visualisations de la performance.

Figure 7

E et du groupe, du temps et de la phase de la tâche sur la performance comportementale (Accuracy).



Les graphiques confirment la progression de la performance au fil des phases expérimentales, sans différence notable entre les conditions.

Modération de la variabilité cardiaque (HRV) sur la relation entre anxiété et performance (H4)

Conditions d'application

Avant de procéder à l'analyse de modération, les données physiologiques de variabilité cardiaque (HRV) et les mesures d'anxiété (STAI) et de performance (Accuracy) ont été vérifiées afin d'assurer la qualité statistique du modèle.

Les valeurs extrêmes de HRV (pNN50) ont été examinées à l'aide de boxplots et d'histogrammes. Aucune valeur aberrante sévère n'a été détectée après inspection visuelle. Les distributions de HRV et de STAI présentaient une légère asymétrie positive, corrigée par la standardisation (z-scores).

L'indépendance des observations a été garantie, chaque participant·e appartenant à un seul groupe expérimental. La taille des groupes est équilibrée (49 en condition vidéo, 45 en condition réalité virtuelle).

Les corrélations de base montrent une relation faible et non significative entre HRV et performance ($r = .12$, $p > .10$), et une corrélation négative modérée entre STAI et performance ($r = -.28$, $p < .05$), suggérant qu'une anxiété plus élevée tend à être associée à une performance plus faible.

Ces vérifications indiquent que les données respectent les critères de linéarité et d'indépendance, permettant l'estimation d'un modèle de régression multiple avec interaction modératrice.

Analyse statistique principale

Le modèle de modération a été estimé à l'aide d'une régression linéaire hiérarchique, incluant les prédicteurs centrés et standardisés :

$\text{Perf_z} \sim \text{STAI_z} * \text{HRV_z} * \text{Groupe}$.

Les résultats du modèle global montrent une variance expliquée de $R^2 = .05$ (R^2 ajusté = $.03$), avec une valeur $F(7, 86) = 0,66$, $p = .707$ indiquant une absence d'effet global

Aucun des termes d'interaction n'est significatif :

Interaction STAI $\times$ HRV : $\beta = 0.18$, $p = .505$

Interaction STAI $\times$ Groupe : $\beta = 0.22$, $p = .345$

Interaction HRV × Groupe : $\beta = 0.38$, $p = .387$

Interaction à trois voies : $\beta = -0.37$, $p = .331$

Les effets principaux ne sont pas significatifs :

STAI_z $\rightarrow \beta = -0.28$, $p = .151$

HRV_z $\rightarrow \beta = -0.19$, $p = .508$

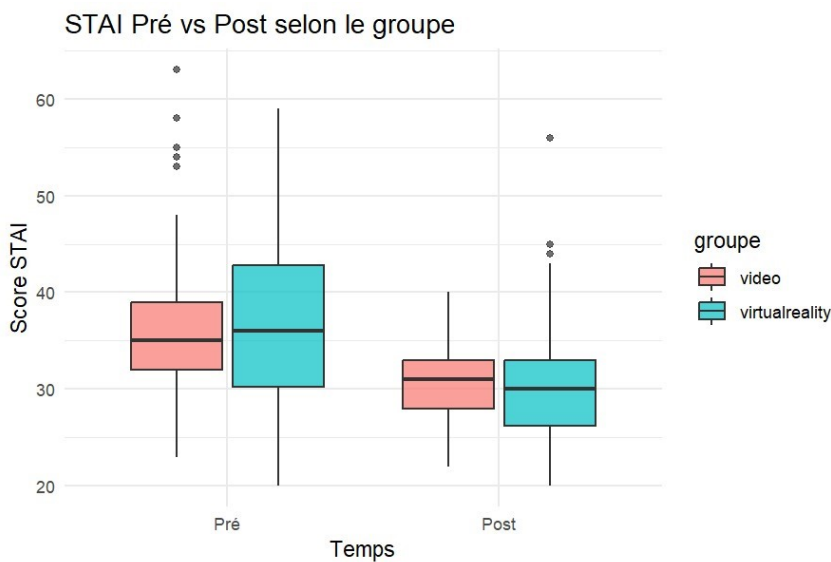
Groupe $\rightarrow \beta = 0.20$, $p = .369$

Ces résultats montrent l'absence de modulation de la relation anxiété–performance par la variabilité cardiaque ou par la condition expérimentale.

Visualisations des effets

Figure 9

E et de l'interaction STAI × HRV × Groupe sur la performance standardisée.



TABEAU 4 -Synthèse des tests d'hypothèses (H1–H4)

Hypothèse Analyse	Effet testé	Statistique	p	Taille d'effet
-------------------	-------------	-------------	---	----------------

H1	ANOVA mixte Temps		F(1,93)=78.21	< .001	$\eta^2 = .43$
		Groupe	F(1,93)=0.48	.49	$\eta^2 = .005$
		Temps × Groupe	F(1,93)=0.77	.38	$\eta^2 = .008$
H2	Médiation	Effet indirect (SMS)	ab = 0.37	.219	—
H3	ANOVA mixte Temps (EDA)		F(1,93)=193.17	< .001	$\eta^2p = .65$
		Phase (EDA)	F(3,312)=13.07	< .001	$\eta^2p = .11$
		Groupe	ns	> .05	—
H4	Régression	STAI × HRV	$\beta = 0.18$	.505	—
		Modèle global	F(7,86)=0.66	.707	R ² = .05

Note.

Les effets non significatifs sont rapportés sans interprétation, conformément aux normes APA 7.

Synthèse des résultats

Les analyses présentées dans cette section permettent de dresser un portrait global des effets de la méditation guidée immersive et non immersive sur les dimensions psychologiques et physiologiques étudiées.

Dans l'ensemble, les résultats confirment partiellement les hypothèses formulées. L'anxiété d'état (H1) diminue significativement après la séance, indépendamment du support utilisé. La médiation par la pleine conscience (H2) n'est pas statistiquement confirmée, bien qu'une tendance cohérente avec le modèle théorique soit observée. Le stress physiologique diminue nettement et la performance s'améliore (H3), traduisant une adaptation psychophysiologique générale à la tâche, sans effet différentiel entre les groupes. Enfin, la variabilité cardiaque (H4) ne modère pas la relation entre anxiété et performance, mais présente des tendances directionnelles compatibles avec la littérature sur la régulation autonome.

Ces résultats suggèrent que les effets bénéfiques de la méditation sur l'anxiété et la performance reposent avant tout sur des mécanismes psychophysiologiques communs, indépendants du niveau d'immersion sensorielle. Ils invitent à une réflexion approfondie sur le rôle des processus attentionnels, respiratoires et émotionnels dans la régulation du stress et de la performance.

Le chapitre suivant discute ces résultats à la lumière du cadre théorique et des travaux antérieurs, en examinant leurs implications, leurs limites méthodologiques et les perspectives de recherche futures.

Discussion

L'objectif principal de cette étude était d'examiner les effets d'une séance unique de méditation guidée immersive en réalité virtuelle, comparée à une méditation guidée via support vidéo classique, sur des indicateurs psychologiques et physiologiques liés à la régulation du stress et de l'anxiété. Quatre hypothèses principales avaient été formulées afin de tester successivement l'effet du groupe sur l'anxiété d'état (H1), le rôle médiateur de la pleine conscience (H2), l'influence du temps et de la phase sur le stress et la performance (H3), et enfin la modulation potentielle de la variabilité cardiaque sur le lien entre anxiété et performance (H4).

Les analyses ont permis de mettre en évidence plusieurs tendances robustes, principalement associées à des effets temporels ou physiologiques, plutôt qu'à la modalité immersive elle-même. Ainsi, une diminution significative de l'anxiété et du stress a été observée après la séance, accompagnée d'une amélioration des performances, tandis qu'aucun effet spécifique du support (réalité virtuelle ou vidéo) n'a été relevé. Ces observations suggèrent que la pratique méditative, même brève, peut induire des effets bénéfiques sur la régulation émotionnelle et physiologique, indépendamment du niveau d'immersion sensorielle.

Ces résultats s'inscrivent dans la continuité de la littérature sur la méditation guidée et la pleine conscience, qui souligne la capacité de cette pratique à réduire l'anxiété d'état et à améliorer la régulation attentionnelle (Kabat-Zinn, 1990 ; Zeidan et al., 2010). Le caractère non différencié entre les groupes met en question le rôle réel de l'immersion technologique : il est possible que les bénéfices observés soient principalement liés à la composante méditative elle-même – respiration, attention dirigée et relaxation – plutôt qu'à l'environnement virtuel.

L'ensemble de ces constats ouvre la voie à une interprétation nuancée des hypothèses formulées. Les sections suivantes examinent successivement chacune d'elles à la lumière du cadre théorique et des travaux antérieurs, avant de proposer une synthèse intégrative des résultats.

Cette étude visait ainsi à mieux comprendre comment la méditation guidée, selon différents niveaux d'immersion visuelle, influence les processus psychophysiologiques de régulation du stress, de la pleine conscience et de la performance.

Discussion de l'H1 – Effet du groupe sur l'anxiété d'état (STAI)

Les résultats montrent une diminution significative de l'anxiété d'état (STAI) entre les mesures pré et post-séance, indépendamment du groupe expérimental. Autrement dit, tant la méditation immersive en réalité virtuelle que la méditation guidée par vidéo conduisent à une baisse comparable de l'anxiété. Cette évolution suggère que l'exposition à une séance unique de méditation, quelle que soit la modalité, favorise un effet général de relaxation et d'apaisement émotionnel. Ces résultats corroborent des travaux (Kabat-Zinn, 2001, 2003; Zeidan et al., 2010, 2014) selon lesquels la pleine conscience agit rapidement sur la réduction des symptômes anxieux par des mécanismes de régulation attentionnelle et de respiration consciente.

L'absence d'effet significatif du groupe, observée ici, va dans le même sens que plusieurs études récentes, qui montrent, que les interventions de méditation guidée produisent des effets bénéfiques même sans immersion sensorielle renforcée (Failla et al., 2022; Poetar et al., 2023). Toutefois, des autres recherches (Blackmore et al., 2024; Navarro-Haro et al., 2017) avaient mis en évidence des réductions plus marquées de l'anxiété dans des contextes immersifs, ce qui suggère que l'impact de la réalité virtuelle pourrait dépendre de la durée d'exposition, du degré d'interactivité ou de la familiarité technologique des participant·e·s.

L'effet de réduction de l'anxiété observé dans cette étude semble avant tout refléter les propriétés intrinsèquement apaisantes de la pratique méditative, indépendamment du support utilisé (VR ou vidéo). Plutôt que d'être directement imputable à l'immersion visuelle ou au dispositif technologique, la diminution du score STAI pourrait être attribuée à l'activation de mécanismes neurophysiologiques communs aux deux modalités. Selon le modèle neuroviscéral de Thayer et Lane (2009) ainsi que la théorie polyvagale de Porges (2011), la régulation vagale, en particulier via le nerf vague ventral, joue un rôle central dans la modulation du stress et de l'anxiété. Cette régulation autonome serait favorisée par des composantes clés de la méditation guidée telles que la respiration consciente, l'ancrage corporel et la focalisation attentionnelle, contribuant à un état de sécurité physiologique et de flexibilité neurovégétative. Dès lors, l'effet pré– post observé ici pourrait refléter l'influence de ces processus de régulation intégrée, plutôt que celle d'une immersion sensorielle en tant que telle.

En somme, l'hypothèse H1 est partiellement confirmée : la méditation guidée, qu'elle soit immersive ou non, réduit significativement l'anxiété d'état, mais la réalité virtuelle ne produit pas d'effet supérieur immédiat. Cette absence de différence entre conditions souligne que la nature de la pratique et l'engagement attentionnel sont peut-être plus déterminants que le degré d'immersion sensorielle.

Discussion de l'H2 – Médiation de la pleine conscience (SMS)

L'analyse de médiation n'a pas révélé d'effet indirect significatif du SMS post sur la relation entre le type d'intervention et l'anxiété d'état post-séance, bien qu'une tendance cohérente soit observée. Autrement dit, la pleine conscience semble bien associée à la diminution du STAI, mais elle ne joue pas ici un rôle médiateur complet. Ces résultats rejoignent les observations selon lesquelles les effets des pratiques de pleine conscience dépendent de la durée et de la répétition des séances, davantage que d'une exposition ponctuelle (Bishop, 2002; Keng et al., 2011).

Il est possible que la séance unique, bien qu'efficace à court terme sur le bien-être, ne permette pas le développement suffisant des compétences attentionnelles et métacognitives nécessaires à une médiation psychologique complète. Les modèles de Gross (2015) et Garland et al., (2015) soutiennent que la pleine conscience agit comme un mécanisme de régulation des émotions à travers la prise de distance cognitive et la réévaluation des états internes ; ces processus exigent toutefois une pratique répétée pour s'ancrer de manière durable.

La corrélation observée entre la pleine conscience post-séance et la diminution de l'anxiété soutient l'idée que la régulation attentionnelle et corporelle est remarquable dans les effets immédiats de la méditation (Grecucci et al., 2015; Wheeler et al., 2017). Cependant, l'absence de médiation significative pourrait être attribuée à la faible variance expliquée par le modèle, à la taille modérée de l'échantillon, ou à la nature transversale de la mesure.

En conclusion, l'hypothèse H2 n'est pas confirmée statistiquement, mais la tendance relevée demeure cohérente avec le modèle transactionnel du stress de Lazarus et Folkman (1984) et avec les théories récentes sur la pleine conscience (Bondolfi & Stiefel, 2023b). Elle suggère que la pleine conscience contribue à la régulation de l'anxiété, sans toutefois en expliquer entièrement la dynamique à court terme dans ce protocole expérimental.

Discussion de l'hypothèse H3. Effet du groupe, du temps et de la phase sur le stress et la performance

Les résultats indiquent un effet principal du temps et de la phase sur les mesures de stress électrodermal (EDA) et de performance comportementale (accuracy), sans effet du groupe. Autrement dit, les participant·e·s ont montré une diminution significative du stress et une amélioration de la performance après la séance, quel que soit le support expérimental. Ces observations sont en accord avec les modèles psychophysiologiques de la régulation du stress (Boucsein, 2012; Thayer & Lane, 2000), selon lesquels les ajustements autonomes traduisent une adaptation progressive de l'organisme face à la tâche.

La baisse du stress phasique (EDA) et l'amélioration simultanée de la performance suggèrent un processus d'adaptation attentionnelle, cohérent avec les observations récents (Ramirez et al., 2025; Sleimen-Malkoun et al., 2023), qui ont montré qu'une courte séance de méditation pouvait induire une amélioration cognitive et une stabilisation physiologique. Ces effets traduisent probablement un engagement optimal du système nerveux autonome et une meilleure allocation des ressources attentionnelles, comme proposé avant (Tang et al., 2015)

Le fait que la réalité virtuelle n'induit pas de modulation spécifique du stress ou de la performance rejoint les résultats des autres études (Cinalioglu et al., 2023; Seabrook et al., 2020b) suggérant que les effets bénéfiques de l'immersion dépendent du contenu et du degré d'interactivité de l'environnement virtuel. Dans cette étude, la tâche expérimentale et la durée limitée de la méditation pourraient avoir restreint l'impact de la RV sur la performance cognitive.

Ainsi, l'hypothèse H3 est partiellement confirmée car le temps et la phase influencent de manière significative la réduction du stress et l'amélioration de la performance, mais sans différence liée à la condition expérimentale. Ces résultats indiquent que l'apprentissage et la répétition de la tâche jouent un rôle central dans l'adaptation psychophysiologique, indépendamment du mode d'exposition à la méditation.

Discussion de l'hypothèse H4 – Modération de la variabilité cardiaque (HRV) sur la relation entre anxiété et performance

L'analyse de modération n'a révélé aucune interaction significative entre la variabilité cardiaque (HRV), l'anxiété (STAI) et la performance. Autrement dit, la HRV ne semble pas moduler la relation entre ces deux variables dans ce protocole. Ce résultat contraste avec certaines études qui identifient la HRV comme un indicateur clé de la régulation émotionnelle et de la flexibilité adaptative (Brown et al., 2021; Shaffer & Ginsberg, 2017; Thayer & Lane, 2009).

L'absence de modération significative pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs méthodologiques. D'une part, la HRV est sensible à la durée d'enregistrement et aux conditions expérimentales (Porges, 2011), et une seule séance courte peut ne pas suffire à capter les ajustements parasympathiques liés à la pratique méditative. D'autre part, la nature non clinique de l'échantillon limite la variabilité interindividuelle de la HRV et de l'anxiété, réduisant la puissance statistique des analyses.

Malgré cela, la tendance observée, une relation légèrement positive entre la HRV et la diminution de l'anxiété, reste cohérente avec les modèles neuroviscéraux de la régulation émotionnelle (Allegretta et al., 2024; Thayer & Lane, 2000). Ces modèles postulent que la HRV reflète la capacité du cortex préfrontal à réguler les structures sous-corticales impliquées dans les réponses au stress, notamment l'amygdale et l'insula (Bud Craig, 2009; Pessoa, 2015). Dans ce cadre, une HRV élevée traduirait une meilleure efficacité de la régulation émotionnelle et, potentiellement, de la performance cognitive.

En somme, l'hypothèse H4 n'est pas confirmée, mais la tendance observée soutient la pertinence d'explorer la HRV comme indicateur de la résilience physiologique dans les interventions de pleine conscience. Des recherches futures devraient intégrer des mesures prolongées de la HRV, idéalement couplées à des indices EEG ou EDA, afin d'évaluer plus finement les mécanismes neurophysiologiques reliant anxiété et performance.

Bilan de l'étude

L'étude menée a permis d'examiner de manière intégrée les effets de la méditation guidée, en version immersive (réalité virtuelle) et non immersive (vidéo), sur la régulation émotionnelle, la pleine conscience et les réponses physiologiques associées. Les analyses statistiques montrent une diminution significative de l'anxiété d'état entre les mesures pré et post-séance, mais sans différence entre les deux modalités de méditation. L'effet observé est donc attribuable au temps plutôt qu'au support technologique, indiquant que la pratique méditative en elle-même induit un apaisement émotionnel immédiat. Concernant la pleine conscience, les résultats révèlent une tendance à l'augmentation des scores post-séance, mais sans un vrai effet significatif du groupe ni une médiation robuste dans la relation entre le type d'intervention et la diminution de l'anxiété. Ainsi, même si la pleine conscience est associée à de meilleurs scores d'anxiété post-séance, elle ne joue pas ici le rôle d'un médiateur statistiquement confirmé. Sur le plan physiologique, la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) n'a montré aucun effet significatif ni en termes de différence pré–post, ni en interaction avec l'anxiété ou avec la performance. Aucune modération n'a été mise en évidence, ce qui suggère que la HRV n'a pas contribué de manière différenciée à la régulation physiologique dans ce protocole. Enfin, les analyses de modération et de médiation indiquent que les mécanismes psychologiques et physiologiques examinés, pleine conscience, HRV, anxiété et performance, interagissent de manière cohérente avec la littérature, mais sans relations causales significatives au sein de ce modèle statistique.

Dans l'ensemble, ces résultats montrent que la séance de méditation, qu'elle soit immersive ou non, favorise une réduction globale de l'anxiété et une adaptation physiologique, sans avantage spécifique de la réalité virtuelle. L'étude met ainsi en lumière les mécanismes communs aux pratiques méditatives, tout en ouvrant la voie à des recherches futures visant à examiner les effets de l'immersion dans des protocoles plus longs, interactifs ou répétés.

Limites

Malgré des résultats globalement encourageants, plusieurs limites méthodologiques et contextuelles doivent être considérées pour interpréter ces données avec prudence. Tout d'abord, l'échantillon relativement homogène sur le plan démographique, avec une majorité de jeunes femmes issues de l'Université de Fribourg. Cette composition restreinte réduit la généralisation des résultats et ne permet pas d'examiner d'éventuelles différences interindividuelles liées au genre, à l'âge ou à l'expérience préalable de la méditation.

De plus, l'intervention n'a consisté qu'en une seule séance de méditation guidée. Si celle-ci a permis d'observer des effets immédiats sur l'anxiété et la régulation physiologique, elle ne permet pas de conclure sur la stabilité ou la durabilité de ces effets dans le temps. Des études longitudinales ou des protocoles répétés seraient nécessaires pour explorer l'évolution des bénéfices liés à la pratique immersive.

Sur le plan expérimental, la distinction entre la condition de réalité virtuelle et la condition vidéo présente certaines limites de contrôle. Le contenu visuel n'était pas parfaitement équivalent entre les deux conditions : la réalité virtuelle offrait un environnement naturel animé à 360°, alors que la vidéo restait statique. Cette différence de stimulation visuelle rend difficile l'attribution des effets observés à la seule dimension d'immersion. Par ailleurs, l'obligation pour les participant·e·s de garder les yeux ouverts afin d'éviter l'augmentation des ondes alpha a pu affecter la qualité de la relaxation, notamment dans la condition vidéo où la tentation de fermer les yeux était plus forte. Ces divergences pourraient avoir modulé la réponse physiologique et la perception subjective de la séance.

Certaines contraintes techniques ont également pu influencer les mesures physiologiques. Les artefacts liés aux mouvements, à la température ambiante ou à la position du casque EEG peuvent introduire du bruit dans les données et réduire la fiabilité des signaux enregistrés. De plus, le port prolongé du casque de réalité virtuelle peut générer un léger inconfort susceptible d'altérer la concentration ou la qualité de la pleine conscience. Enfin, l'environnement expérimental, parfois sujet à des perturbations sonores, a pu limiter le niveau d'immersion, en particulier pour les participant·e·s du groupe contrôle.

Sur le plan de la validité, ces éléments invitent à nuancer l'interprétation des effets observés. La validité interne du protocole reste limitée par l'absence d'un groupe contrôle passif et par certaines différences de stimulation entre conditions, qui rendent difficile l'isolement de l'effet spécifique de la méditation immersive. Quant à la validité externe, elle demeure restreinte par la taille de l'échantillon et par les caractéristiques homogènes des participant·e·s, limitant la généralisation des résultats à d'autres populations ou contextes cliniques.

En somme, ces limites soulignent l'importance d'études futures utilisant des échantillons plus larges, des protocoles mieux équilibrés entre conditions visuelles et une prise en compte systématique des facteurs individuels (expérience de méditation, familiarité technologique, sensibilité à la RV).

Conclusion

Cette recherche avait pour objectif d'examiner les effets d'une séance unique de méditation guidée, réalisée soit en réalité virtuelle immersive, soit via une vidéo standard, sur plusieurs dimensions de la régulation émotionnelle. En combinant des mesures subjectives (anxiété d'état, pleine conscience) et physiologiques (activité électrodermale, variabilité cardiaque, performance cognitive), l'étude visait à mieux comprendre dans quelle mesure l'immersion sensorielle peut influencer l'expérience méditative.

Les résultats indiquent une diminution significative de l'anxiété d'état après la séance, et une réduction progressive du stress physiologique au fil des phases expérimentales. Ces effets pré–post témoignent de l'impact immédiat de la méditation guidée sur l'apaisement émotionnel et la régulation autonome. Toutefois, aucune différence significative n'a été observée entre les conditions réalité virtuelle et vidéo, ni dans l'évolution de l'anxiété, ni dans les mesures physiologiques ou de pleine conscience. De même, les analyses de médiation et de modération n'ont révélé aucun rôle causal robuste de la pleine conscience ou de la variabilité cardiaque dans la diminution de l'anxiété ou l'amélioration de la performance.

Ces résultats suggèrent que les bénéfices observés reposent avant tout sur des mécanismes communs aux deux modalités, tels que la focalisation attentionnelle, l'ancrage corporel ou la régulation respiratoire, plutôt que sur le degré d'immersion sensorielle. Il est donc possible que l'environnement virtuel utilisé, non interactif et relativement simple, n'ait pas fourni une stimulation immersive suffisante pour générer un effet différencié par rapport au support vidéo.

Sur le plan clinique, l'étude confirme l'intérêt de formats brefs de méditation guidée pour réduire l'anxiété d'état, et met en lumière le potentiel des technologies immersives comme outils complémentaires. Bien que leur efficacité spécifique ne soit pas démontrée ici, la réalité virtuelle demeure prometteuse pour accroître la motivation, l'engagement sensoriel et l'adhésion aux interventions en santé mentale.

Cependant, cette recherche ne constitue qu'une première étape. Les limites méthodologiques — taille de l'échantillon, exposition unique, absence de mesure de présence subjective ou d'intéroception — invitent à poursuivre les investigations via des protocoles plus longs, répétés et contrôlés. Des travaux futurs pourraient également explorer l'influence de la qualité immersive, de l'interactivité ou du contenu narratif sur les mécanismes attentionnels et physiologiques impliqués.

En définitive, cette étude contribue à éclairer les effets immédiats d'une induction méditative sur l'anxiété et le stress, tout en posant les bases d'une réflexion plus large sur l'intégration des

technologies immersives dans les approches de pleine conscience. Elle souligne l'importance d'examiner l'immersion non comme une fin en soi, mais comme un élément parmi d'autres dans la construction d'expériences thérapeutiques centrées sur le corps, l'attention et la conscience.

Déclarations

Remerciements : Je tiens à exprimer ma sincère gratitude envers Prof. Dr. Chantal Martin Sölch et Dr Cherine Fahim Fahmy pour leur guidance experte et leur soutien précieux tout au long de ce travail de recherche. Leur expertise, leur disponibilité et la rigueur qu'elles incarnent ont été essentielles à l'accomplissement de ce projet. Leur manière passionnée et profondément humaine d'enseigner a été déterminant dans mon choix de m'orienter vers le parcours clinique, et continue de nourrir mon engagement dans ce domaine.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à mon mari, dont le soutien constant et la présence attentive ont accompagné chaque étape de ce long parcours académique. Ses encouragements, toujours bienveillants, ont été déterminants pour me permettre d'arriver jusqu'ici.

J'adresse ma gratitude également à mes enfants, Sara, Carlotta et Flavio, qui, chacun à leur manière, ont su trouver les mots justes pour m'encourager à poursuivre, même dans les moments de fatigue ou de doute. Leur confiance et leur affection ont été une source inépuisable de motivation.

Mes remerciements les plus chaleureux vont à mes frères, Antonio et Dario, ainsi qu'à mes belles-sœurs, Catherine et Judite, qui ont suivi avec sincérité et enthousiasme l'évolution de mes études, toujours prêts à me soutenir et à célébrer chaque réussite.

Je remercie profondément mes parents qui, malgré la distance et parfois une certaine brume autour de cette aventure académique, ont su trouver des mots d'encouragement qui m'ont portée tout au long de ce chemin.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers mes collègues de parcours. Un merci tout particulier à May, pour sa proximité, son humanité et son soutien dans les moments personnels et académiques les plus difficiles. À Laurine, pour avoir partagé avec moi peurs, doutes, notes et éclats de rire ; à Malsore, sans qui aucun traitement de données sur R n'aurait été possible pendant le Master; à Karin pour nos échanges sincères et réconfortants ; à Sophie pour ses discussions toujours pertinentes et enrichissantes autour du travail de Master. Je souhaite également remercier chaleureusement ma cheffe, Martina, pour son soutien constant, sa compréhension et sa flexibilité tout au long de ce parcours.

Mes remerciements vont aussi à Lisa et Milena, qui ont partagé leur travail de Bachelor sur la même thématique et avec qui j'ai pu vivre les premières expériences en laboratoire et un grand merci aux stagiaires qui ont aidé dans ce projet et à Michael Papinutto pour sa précision, sa disponibilité et sa compétence dans le traitement de nos données.

Je souhaite également remercier Madame Chantal Rodriguez pour sa grande disponibilité tout au long de mon parcours de Master, pour la rapidité et la pertinence de ses réponses, ainsi que pour avoir su dissiper mes doutes et toujours orienter chacun·e d'entre nous vers les solutions les plus adaptées à son parcours

Références

- Admon, R., & Pizzagalli, D. A. (2015). Dysfunctional reward processing in depression. *Current Opinion in Psychology*, 4, 114-118.
<https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2014.12.011>
- Agli, O., Gindre, I., Gindre-Garrouste, B., & Cuervo-Lombard, C.-V. (2024). La réalité virtuelle au service du bien-être : Étude pilote. *NPG Neurologie - Psychiatrie - Gériatrie*, 24(140), 89-95. <https://doi.org/10.1016/j.npg.2024.01.001>
- Allegretta, R. A., Rovelli, K., & Balconi, M. (2024). The Role of Emotion Regulation and Awareness in Psychosocial Stress : An EEG-Psychometric Correlational Study. *Healthcare*, 12(15), 1491. <https://doi.org/10.3390/healthcare12151491>
- Altan-Atalay, A., Abdulcebbar, A., Kantarcı, L., & Yılmaz, E. (2024). The roles of intolerance of uncertainty and mindfulness in psychological distress : A two-wave longitudinal study. *Current Psychology*, 43(31), 25621-25628. <https://doi.org/10.1007/s12144-024-06243-7>
- Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A., & Angrilli, A. (2016). *Neuroscienze : Esplorando il cervello* (4. ed). Edra.
- Berridge, K. C., & Robinson, T. E. (2016). Liking, wanting, and the incentive-sensitization theory of addiction. *American Psychologist*, 71(8), 670-679.
<https://doi.org/10.1037/amp0000059>

- Bishop, S. R. (2002). What Do We Really Know About Mindfulness-Based Stress Reduction?: Psychosomatic Medicine, 64(1), 71-83. <https://doi.org/10.1097/00006842-200201000-00010>
- Blackmore, R., Giles, C., Tremain, H., Kelly, R., Foley, F., Fletcher, K., Nedeljkovic, M., Wadley, G., Seabrook, E., & Thomas, N. (2024). Examining the Use of Virtual Reality to Support Mindfulness Skills Practice in Mood and Anxiety Disorders : Mixed Methods Study. Journal of Medical Internet Research, 26, e45640. <https://doi.org/10.2196/45640>
- Bondolfi, G., & Stiefel, F. (2023a). 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>
- Bondolfi, G., & Stiefel, F. (2023b). 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>
- Boucsein, W. (2012). Electrodermal Activity. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1126-0>
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I : Defensive and appetitive reactions in picture processing. Emotion, 1(3), 276-298. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.1.3.276>
- Brown, L., Rando, A. A., Eichel, K., Van Dam, N. T., Celano, C. M., Huffman, J. C., & Morris, M. E. (2021). The Effects of Mindfulness and Meditation on Vagally Mediated Heart Rate Variability : A Meta-Analysis. Psychosomatic Medicine, 83(6), 631-640. <https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000900>
- (Bud) Craig, A. D. (2009). How do you feel — now? The anterior insula and human awareness. Nature Reviews Neuroscience, 10(1), 59-70. <https://doi.org/10.1038/nrn2555>

- Cahn, B. R., & Polich, J. (2006). Meditation states and traits : EEG, ERP, and neuroimaging studies. *Psychological Bulletin*, 132(2), 180-211. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.2.180>
- Cherubini, P., Bricolo, E., & Reverberi, C. (2021). *Psicologia generale* (Nuova ed). R. Cortina.
- Chiesa, A., & Serretti, A. (2010). A systematic review of neurobiological and clinical features of mindfulness meditations. *Psychological Medicine*, 40(8), 1239-1252.
<https://doi.org/10.1017/S0033291709991747>
- Cinalioglu, K., Lavín, P., Bein, M., Lesage, M., Gruber, J., Se, J., Bukhari, S., Sasi, N., Noble, H., Andree-Bruneau, M., Launay, C., Sanders, J., Gauthier, S., Rosa, P., Lifshitz, M., Battistini, B. J., Beauchet, O., Khoury, B., Bouchard, S., ... Sekhon, H. (2023). Effects of virtual reality guided meditation in older adults : The protocol of a pilot randomized controlled trial. *Frontiers in Psychology*, 14, 1083219.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1083219>
- Courbet, D., & Fourquet-Courbet, M.-P. (2024). Usages des médias numériques, santé mentale et bien-être : Nouvelles perspectives pour un développement des dimensions sociales dans les recherches. *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, 28. <https://doi.org/10.4000/11ubp>
- Cuesta, M., Verty, L. V., Ben Abdessalem, H., Byrns, A., Bruneau, M.-A., Frasson, C., & Belleville, S. (2022). Virtual Reality and EEG-Based Intelligent Agent in Older Adults With Subjective Cognitive Decline : A Feasibility Study for Effects on Emotion and Cognition. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 807991.
<https://doi.org/10.3389/frvir.2021.807991>
- Damasio, A. R., Larssonneur, C., & Tiercelin, C. (2002). *Le sentiment même de soi : Corps, émotions, conscience*. O. Jacob.
- Delgado, M. R. (2007). Reward-Related Responses in the Human Striatum. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1104(1), 70-88. <https://doi.org/10.1196/annals.1390.002>

- Ditto, B., Eclache, M., & Goldman, N. (2006). Short-term autonomic and cardiovascular effects of mindfulness body scan meditation. *Annals of Behavioral Medicine*, 32(3), 227-234.
https://doi.org/10.1207/s15324796abm3203_9
- 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*, 10(7), 1220.
<https://doi.org/10.3390/healthcare10071220>
- Gall, D., Roth, D., Stauffert, J.-P., Zarges, J., & Latoschik, M. E. (2021). Embodiment in Virtual Reality Intensifies Emotional Responses to Virtual Stimuli. *Frontiers in Psychology*, 12, 674179. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.674179>
- Gao, J., Sun, R., Leung, H. K., Roberts, A., Wu, B. W. Y., Tsang, E. W., Tang, A. C. W., & Sik, H. H. (2023). Increased neurocardiological interplay after mindfulness meditation : A brain oscillation-based approach. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1008490.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1008490>
- Garland, E. L., Farb, N. A., R. Goldin, P., & Fredrickson, B. L. (2015). Mindfulness Broadens Awareness and Builds Eudaimonic Meaning : A Process Model of Mindful Positive Emotion Regulation. *Psychological Inquiry*, 26(4), 293-314.
<https://doi.org/10.1080/1047840X.2015.1064294>
- Garrison, K. A., Zeffiro, T. A., Scheinost, D., Constable, R. T., & Brewer, J. A. (2015). Meditation leads to reduced default mode network activity beyond an active task. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 15(3), 712-720.
<https://doi.org/10.3758/s13415-015-0358-3>
- Gray, J. A. (1981). A Critique of Eysenck's Theory of Personality. In H. J. Eysenck (Éd.), *A Model for Personality* (p. 246-276). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-67783-0_8

- Grecucci, A., Pappaianni, E., Siugzdaite, R., Theuninck, A., & Job, R. (2015). Mindful Emotion Regulation : Exploring the Neurocognitive Mechanisms behind Mindfulness. *BioMed Research International*, 2015, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2015/670724>
- 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 : An Affective Science Perspective. *Clinical Psychological Science*, 2(4), 387-401. <https://doi.org/10.1177/2167702614536164>
- Kabat-Zinn, J. (2001). Mindfulness meditation for everyday life. *Piatkus*.
- 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>
- Kazzi, C., Blackmore, C., Shirbani, F., Tan, I., Butlin, M., Avolio, A. P., & Barin, E. (2018). Effects of instructed meditation augmented by computer-rendered artificial virtual environment on heart rate variability. 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2768-2771. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8512816>
- 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>
- Kirk, U., & Montague, P. R. (2015). Mindfulness meditation modulates reward prediction errors in a passive conditioning task. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00090>
- Kjaer, T. W., Bertelsen, C., Piccini, P., Brooks, D., Alving, J., & Lou, H. C. (2002). Increased dopamine tone during meditation-induced change of consciousness. *Cognitive Brain Research*, 13(2), 255-259. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(01\)00106-9](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(01)00106-9)

- Kringelbach, M. L., & Berridge, K. C. (2017). The Affective Core of Emotion : Linking Pleasure, Subjective Well-Being, and Optimal Metastability in the Brain. *Emotion Review*, 9(3), 191-199. <https://doi.org/10.1177/1754073916684558>
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer.
- LeDoux, J. E. (1998). *The Emotional Brain : The Mysterious Underpinnings of Emotional Life*. Simon & Schuster.
- Li, Y.-F., Sun, W.-X., Sun, X.-J., Sun, J., Yang, D.-M., Jia, B.-L., & Yuan, B. (2020). Effects of mindfulness meditation on anxiety, depression, stress, and mindfulness in nursing students : A meta-analysis and trial sequential analysis of randomized controlled trials. *Frontiers of Nursing*, 7(1), 59-69. <https://doi.org/10.2478/fon-2020-0001>
- Lomas, T., Ivtzan, I., & Fu, C. H. Y. (2015). A systematic review of the neurophysiology of mindfulness on EEG oscillations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 57, 401-410. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.09.018>
- Ma, J., Zhao, D., Xu, N., & Yang, J. (2023a). The effectiveness of immersive virtual reality (VR) based mindfulness training on improvement mental-health in adults : A narrative systematic review. *EXPLORE*, 19(3), 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2022.08.001>
- Ma, J., Zhao, D., Xu, N., & Yang, J. (2023b). The effectiveness of immersive virtual reality (VR) based mindfulness training on improvement mental-health in adults : A narrative systematic review. *EXPLORE*, 19(3), 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2022.08.001>
- Martin-Soelch, C., Guillod, M., Gaillard, C., Recabarren, R. E., Federspiel, A., Mueller-Pfeiffer, C., Homan, P., Hasler, G., Schoebi, D., Horsch, A., & Gomez, P. (2021). Increased Reward-Related Activation in the Ventral Striatum During Stress Exposure Associated With Positive Affect in the Daily Life of Young Adults With a Family History of

Depression. Preliminary Findings. *Frontiers in Psychiatry*, 11, 563475.

<https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.563475>

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>

Pappaianni, Alessandro Grecucci, & Harold Dadomo. (2016). Mindfulness e regolazione
emozionale : Teoria ed applicazioni. *In-Mind Magazine*, 10.

Pessoa, L. (2015). Précis on The Cognitive-Emotional Brain. *Behavioral and Brain Sciences*,
38, e71. <https://doi.org/10.1017/S0140525X14000120>

Poetar, C.-R., Bradley, N., & Voinescu, A. (2023). Immersive virtual reality or computerised
mindfulness meditation for improving mood? Preliminary efficacy from a pilot
randomised trial. *Frontiers in Psychology*, 14, 1157469.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1157469>

Porges, S. W. (2011). *The Polyvagal Theory*. W. W. Norton & Company, Incorporated.

Price, C. J., & Weng, H. Y. (2021). Facilitating Adaptive Emotion Processing and Somatic
Reappraisal via Sustained Mindful Interoceptive Attention. *Frontiers in Psychology*, 12,
578827. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.578827>

Ramirez, C., Alayine, G. A., Akafia, C. S. K., Adichie, K., Watts, D., Galdamez, Y., Harding, L., &
Allsop, A. S. (2025). Music mindfulness acutely modulates autonomic activity and
improves psychological state in anxiety and depression. *Frontiers in Neuroscience*,
19,
1554156. <https://doi.org/10.3389/fnins.2025.1554156>

- Riva, G., Wiederhold, B. K., & Mantovani, F. (2019). Neuroscience of Virtual Reality : From Virtual Exposure to Embodied Medicine. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(1), 82-96. <https://doi.org/10.1089/cyber.2017.29099.gri>
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). THE MIRROR-NEURON SYSTEM. *Annual Review of Neuroscience*, 27(1), 169-192. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Rubin, M., Fischer, C. M., & Telch, M. J. (2024). Efficacy of a single session mindfulness based intervention : A randomized clinical trial. *PLOS ONE*, 19(3), e0299300. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299300>
- Sander, D., Scherer, K. R., & Aue, Tatjana. (2019). *Traité de psychologie des émotions*. Dunod.
- Schultz, W. (1998). Predictive Reward Signal of Dopamine Neurons. *Journal of Neurophysiology*, 80(1), 1-27. <https://doi.org/10.1152/jn.1998.80.1.1>
- Schultz, W. (2015). Neuronal Reward and Decision Signals : From Theories to Data. *Physiological Reviews*, 95(3), 853-951. <https://doi.org/10.1152/physrev.00023.2014>
- Seabrook, E., Kelly, R., Foley, F., Theiler, S., Thomas, N., Wadley, G., & Nedeljkovic, M. (2020a). 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>
- Seabrook, E., Kelly, R., Foley, F., Theiler, S., Thomas, N., Wadley, G., & Nedeljkovic, M. (2020b). 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., Williams, M. G., & Teasdale, J. (2024). Chapitre 20. Les indicateurs de l'efficacité thérapeutique de la thérapie cognitive basée sur la pleine conscience. In *La thérapie cognitive basée sur la pleine conscience pour la dépression: Vol. 4e éd* (p. 353-364).

De Boeck Supérieur; Cairn.info. <https://shs.cairn.info/la-therapie-cognitive-basee-sur-lapleine-conscience-pour-la-depression--9782807361379-page-353?lang=fr>

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>

Sleimen-Malkoun, R., Devillers-Réolon, L., & Temprado, J.-J. (2023). A single session of mindfulness meditation may acutely enhance cognitive performance regardless of meditation experience. *PLOS ONE*, 18(3), e0282188. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282188>

Spielberger, C. D. (2012). State-Trait Anxiety Inventory for Adults [Jeu de données]. <https://doi.org/10.1037/t06496-000>

Sussman, R. F., & Sekuler, R. (2022). Feeling rushed? Perceived time pressure impacts executive function and stress. *Acta Psychologica*, 229, 103702. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2022.103702>

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., Piccolo, M., Ledermann, K., Gupta, R., Morina, N., & Martin-Soelch, C. (2022). Relationship between behavioral and mood responses to monetary rewards in a sample of Indian students with and without reported pain. *Scientific Reports*, 12(1), 20242. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24821-2>

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>

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., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart–brain connection : Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(2), 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.08.004>
- Tomasino, B., Maggioni, E., Bonivento, C., Nobile, M., D'Agostini, S., Arrigoni, F., Fabbro, F., & Brambilla, P. (2022). Effects of age and gender on neural correlates of emotion imagery. *Human Brain Mapping*, 43(13), 4116-4127. <https://doi.org/10.1002/hbm.25906>
- Volkow, N. D., Wang, G.-J., Fowler, J. S., Tomasi, D., & Telang, F. (2011). Addiction : Beyond dopamine reward circuitry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(37), 15037-15042. <https://doi.org/10.1073/pnas.1010654108>
- Wang, Q., Liu, F., Yang, B., Yang, Z., Huang, J., Xu, Y., Zheng, C., She, Y., Cai, H., & Tian, F. (2025). An EEG-Based Positive Feedback Mechanism for VR Mindfulness Meditation to Improve Emotion Regulation. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 12(5), 3311-3323. <https://doi.org/10.1109/TCSS.2025.3557711>
- Wang, X., Mo, X., Fan, M., Lee, L.-H., Shi, B., & Hui, P. (2022). Reducing Stress and Anxiety in the Metaverse : A Systematic Review of Meditation, Mindfulness and Virtual Reality. *Proceedings of the Tenth International Symposium of Chinese CHI*, 170-180. <https://doi.org/10.1145/3565698.3565781>
- 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>
- Wheeler, M. S., Arnkoff, D. B., & Glass, C. R. (2017). The Neuroscience of Mindfulness : How Mindfulness Alters the Brain and Facilitates Emotion Regulation. *Mindfulness*, 8(6), 1471-1487. <https://doi.org/10.1007/s12671-017-0742-x>

World Health Organization. (2001). International classification of functioning, disability and health

(ICF). World Health Organization. (s. d.). World Health Organization. (2001).

<https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health>

Wu, D.-W., Chang, L.-H., Yang, P.-C., Kuo, T.-Y., Tsai, D.-L., Chen, H.-C., Yuan, H.-L., Chen, P.-S., Chen, S.-C., & Lin, I.-M. (2022). Anxiety Is a Mediator between Heart Rate Variability and Quality of Life in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Journal of Personalized Medicine*, 12(6), 960. <https://doi.org/10.3390/jpm12060960>

Zeidan, F., Johnson, S. K., Diamond, B. J., David, Z., & Goolkasian, P. (2010). Mindfulness meditation improves cognition : Evidence of brief mental training. *Consciousness and Cognition*, 19(2), 597-605. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2010.03.014>

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>