

TECHNOLOGIES IMMERSIVES ET SANTÉ MENTALE : EFFICACITÉ DE LA MÉDITATION GUIDÉE EN RÉALITÉ VIRTUELLE (VR) COMPARÉE À LA MÉDITATION GUIDÉE NON IMMERSIVE

*Lisa Azzi¹,

1. Travail de Bachelor, unité de psychologie clinique et de la santé, département de psychologie, université de Fribourg

***Auteure correspondante** : Lisa Azzi lisa.azzi@unifr.ch

Citation : Azzi, L. (2025). Technologies immersives et santé mentale : Efficacité de la méditation guidée en réalité virtuelle (VR) comparée à la méditation guidée non immersive. *Cortica*, 4(2). 169-214. <https://doi.org/10.26034/cortica.2025.8564>

Résumé

Dans une société marquée par le stress et l'anxiété, la méditation en pleine conscience est de plus en plus utilisée comme moyen de gérer ses émotions. Ce travail explore l'intérêt d'y intégrer la réalité virtuelle (RV), en comparant les résultats d'une séance de méditation guidée immersive en RV à ceux d'une méditation guidée en vidéo/audio. L'étude expérimentale a impliqué 48 participant-e-s, réparti-e-s aléatoirement entre deux groupes (RV vs vidéo). Les effets ont été évalués à l'aide d'échelles psychologiques (PANAS, STAI, SMS) et de données physiologiques, en particulier l'activité cérébrale via électroencéphalogramme (EEG) (ondes alpha, bêta, thêta, gamma). Les résultats indiquent une réduction significative des affects négatifs dans la condition RV, mais aucune différence n'a été remarquée entre les groupes pour l'anxiété, la pleine conscience ou l'activité EEG. Ces résultats indiquent que la réalité virtuelle peut provoquer un engagement émotionnel plus fort et une expérience méditative plus intense, mais sans entraîner d'améliorations significatives à court terme sur les indicateurs cognitifs ou physiologiques. De futures recherches pourraient être faites pour explorer des séances répétées ou personnalisées afin de mieux exploiter le potentiel thérapeutique de la RV.

Mots-clés : réalité virtuelle, méditation, pleine conscience, EEG, bien-être émotionnel

Abstract

In a society marked by stress and anxiety, mindfulness meditation is increasingly used as a means of managing emotions. This study explores the benefits of integrating virtual reality (VR) into mindfulness, by comparing the results of an immersive guided meditation session in VR with those of a video/audio guided meditation. The experimental study involved 48 participants, randomly assigned to one of two groups (VR vs. video). Effects were assessed using psychological scales (PANAS, STAI, SMS) and physiological data, in particular brain activity via electroencephalogram (EEG) (alpha, beta, theta, gamma waves). Results indicate a significant reduction in negative affect in the VR condition, but no differences were observed between groups for anxiety, mindfulness or EEG activity. These results indicate that virtual reality can induce stronger emotional engagement and a more intense meditative experience, but without leading to significant short-term improvements in cognitive or physiological indicators. Future research could explore repeated or personalized sessions to better exploit the therapeutic potential of VR.

Keywords: virtual reality, meditation, mindfulness, EEG, emotional well-being

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

Introduction

L'importance accordée à la santé mentale ne cesse de croître, suscitant chaque année davantage l'intérêt des décideur·euse·s publics, des chercheur·e·s et de la société civile (OECD, 2023 ; Vigo et al., 2020 ; World Health Organization [WHO], 2022). Alors qu'elle se définissait autrefois comme la simple absence de troubles psychiques (Doron, 2015), elle est désormais conçue comme un déterminant essentiel de la santé publique et constitue un enjeu récurrent dans les débats contemporains. Le plan d'action de l'OMS (2013-2030) pour la santé mentale le confirme. Il estime que près de 15% de la population mondiale, en âge de travailler, a souffert d'un trouble mental (Organisation mondiale et la Santé, 2022 ; Organisation internationale du Travail, 2022). Dans une société où le stress chronique et l'anxiété dominant, les pratiques de pleine conscience et de méditation sont de plus en plus pertinentes. En effet, elles ont montré leur capacité à réduire l'anxiété, renforcer la résilience et améliorer le bien-être en général (Kabat-Zinn, 1990 ; Goyal et al., 2014 ; Garland et al., 2015).

Cependant, il pourrait être intéressant d'y ajouter des méthodes innovantes telles que la réalité virtuelle (VR) afin d'augmenter leur efficacité (Goyal et al., 2014). Lorsque la réalité virtuelle a fait son apparition, elle était utilisée pour le divertissement et la formation (Rizzo & Koenig, 2017). De

nos jours, plusieurs recherches montrent son utilité dans un contexte clinique comme pour son efficacité à la prise en charge du stress-post-traumatique, des phobies et l'amélioration de la concentration (Fairburn & Patel, 2017 ; Srivastava et al., 2020).

La méditation, quant à elle, est une pratique ancienne reconnue pour ses effets positifs sur la gestion du stress, la pleine conscience et la régulation des émotions (Ngô, 2013 ; Tang et al., 2015 ; Lomas et al., 2017). Toutefois, la méditation classique présente certaines limites, notamment en termes d'immersion sensorielle et de maintien de l'engagement émotionnel (Zeidan et al., 2010). En effet, beaucoup de personnes rencontrent des difficultés à rester concentrées à cause des distractions externes et internes. La réalité virtuelle (RV) offre une possibilité d'immersion sensorielle plus complète grâce à ses environnements interactifs et contrôlés, ce qui améliore la concentration et diminue toute distraction (Riva et al., 2021 ; Navarro-Haro et al., 2017 ; Kazzi et al., 2018).

Ainsi, la RV a la capacité de combiner une pratique guidée de pleine conscience dans un environnement virtuel sur mesure qui se prête à aider les individus à concentrer leur attention sur le moment présent (Seabrook et al., 2020). Des études récentes montrent que la RV peut soutenir (1) la pratique de la méditation en améliorant l'état de la pleine conscience et en induisant un affect positif ; (2) à relever les défis liés à la pratique de la pleine conscience en créant un sentiment de présence ; (3) en permettant aux utilisateurs de s'occuper des ancres visuelles et auditives de leur choix ; (4) et en réduisant la portée du contenu dans l'errance mentale des utilisateurs (Seabrook et al., 2020 ; Failla et al., 2022 ; Poetar et al., 2023 ; Pascual et al., 2023).

Bien que la méditation ait suscité un intérêt scientifique croissant, la littérature continue de présenter d'importantes zones d'ombre (Van Dam et al., 2018 ; Davidson et Kaszniak, 2015 ; Chiesa et al., 2011). D'abord, très peu de travaux ont examiné dans un même protocole l'efficacité comparative d'expériences immersives et non immersives pour induire des états de relaxation et de pleine conscience (Seabrook et al., 2020) ; la majorité des études se concentre encore sur la méditation traditionnelle en négligeant les approches immersives (Creswell, 2017 ; Goldberg et al., 2018 ; Döllinger et al., 2021). Ensuite, le bien-être et la relaxation sont la plupart du temps évalués à l'aide d'auto-questionnaires – tels que le PANAS ou le STAI – qui reposent sur des mesures subjectives (Morais et al., 2021), tandis que les indicateurs physiologiques objectifs, tels que ceux fournis par l'électroencéphalographie (EEG), demeurent peu employés (Morais et al., 2021).

La présente recherche vise à combler ces lacunes en comparant deux modalités de méditation guidée : une immersion en réalité virtuelle (RV) et un format non immersif diffusé par support vidéo ou audio. Elle évalue l'effet de ces conditions sur un ensemble d'indicateurs psychologiques et

physiologiques, afin de préciser la contribution respective de chaque modalité au processus de relaxation.

Contexte théorique

Définition des types de méditation et bienfaits

Traditionnellement, la pleine conscience est définie comme « un état d'être qui encourage les individus à se connecter à leur corps et à leur esprit » (Kabat-Zinn, 2003). Elle prend son origine dans la culture bouddhiste et sera adaptée par la suite dans le contexte occidental (Kabat-Zinn, 2003). Le domaine médical introduisit la pleine conscience à ses méthodes dans les années 1970 avec le programme de réduction du stress basé sur la pleine conscience (MBSR) qui avait pour but de réduire les douleurs chroniques et le stress en utilisant des pratiques méditatives (Kabat-Zinn, 2003).

A partir des années 2000, avec le développement des technologies d'imagerie cérébrale, la science s'y intéressa de plus en plus, en particulier dans les domaines des neurosciences cognitives et affectives (Loizzo, 2014). Des travaux se sont basés sur les recherches faites au centre intellectuel Nalada, et ont permis de développer des méthodologies afin d'étudier l'esprit et la conscience (Loizzo, 2014). Grâce à des technologies d'imagerie cérébrale des études ont mis en avant les effets de la méditation sur le cerveau, notamment en ce qui concerne la plasticité cérébrale et la régulation des émotions (Loizzo, 2014). De ce fait, selon Loizzo (2014), combiner la science contemporaine et les traditions anciennes pourrait conduire à des approches thérapeutiques plus efficaces.

Récemment, la méditation s'est occidentalisée avec l'apparition de la méditation guidée. Il s'agit d'une technique lors de laquelle un·e instructeur·trice ou un enregistrement audio guide l'individu en méditation à travers des étapes spécifiques qui permettent de susciter un état méditatif plus ou moins profond (Creswell, 2017). Il existe quatre principes de base de la méditation guidée : (1) l'attention focalisée qui consiste au fait de diriger son attention sur une pensée, une sensation ou un objet précis; (2) la relaxation progressive qui est une technique de détente musculaire pour réduire les tensions physiques et émotionnelles; (3) la visualisation pour laquelle il est nécessaire d'imaginer des paysages ou des situations qui nous apaisent pour induire un état de relaxation ; (4) la respiration consciente durant laquelle le sujet prend conscience du rythme de sa respiration pour apaiser l'esprit et le corps (Zeidan et al., 2010).

Cette technique est utilisée pour répondre à différentes problématiques. En effet, des études montrent l'efficacité de cette méthode pour diminuer le niveau de cortisol (hormone du stress) afin

de provoquer une relaxation profonde, ce qui contribue à réduire le stress (Pascoe et al., 2017). De plus, des chercheur-euse-s ont noté les bienfaits de la méditation guidée pour l'amélioration du sommeil, notamment chez les personnes souffrant d'insomnie (Ong et al., 2014). En outre, l'utilisation de la méditation guidée peut être utile en complément à un traitement pour la douleur chronique pour réduire la douleur perçue (Zeidan et al., 2010). Elle peut également aider à renforcer l'estime de soi et à mieux gérer les émotions et le stress quotidien (Khoury et al., 2013).

Sur le plan physiologique de nombreux bienfaits sont observables comme une réduction de la fréquence cardiaque, ainsi qu'une augmentation de la variabilité cardiaque qui révèle un meilleur équilibre au niveau parasympathique (Ditto et al., 2006 ; Tang et al., 2009). De plus, elle engendre une augmentation des ondes alpha et thêta dans l'EEG qui sont des bandes de fréquences associées à une relaxation profonde (Cahn et Polich, 2006 ; Lomas et al., 2015). La méditation influence également les dimensions psychologiques en réduisant l'anxiété, augmentant les affects positifs, et en améliorant la pleine conscience (Hofmann et al., 2010 ; Friedrickson et Joiner, 2002 ; Baer et al., 2006).

L'utilisation de la méditation guidée a prouvé ses bienfaits au niveau de la plasticité cérébrale en modifiant la structure et la fonction cérébrale, en particulier dans les zones associées à la régulation émotionnelle, à la mémoire et à la prise de décision (Lazar et al., 2005). De plus, elle a un effet positif sur les symptômes d'anxiété et de dépression (Hofmann et al., 2010).

Cependant, bien que la méditation soit une pratique qui puisse être réalisée seul·e chez soi, la structure et l'accompagnement revêtent malgré tout une importance. Selon André (2018), la méditation comprend des processus cognitifs et émotionnels complexes pour lesquels il y a un besoin de structure afin d'en optimiser les bienfaits. La structure permet une expérience plus profonde et évite certaines erreurs ou difficultés comme l'absence de régularité ou de progression (André, 2018).

C'est pourquoi, il existe des programmes créés par des expert·e·s qui permettent de rendre l'expérience plus profonde et d'être guidé·e·s au mieux (André, 2018). Les modèles utilisés sont validés scientifiquement, ce qui maximise les effets de la méditation sur le bien-être (André, 2018). Un exemple de technique mis en avant par André (2018) est l'intervention basée sur la pleine conscience (Mindfulness-Based Intervention) qui a montré son efficacité afin de réduire le stress et les troubles dépressifs. Ces éléments montrent que, bien que la méditation reste possible sans un spécialiste présent pour nous guider, les résultats s'avèrent être plus significatifs et durables lorsqu'un accompagnement est disponible (André, 2018).

Technologies immersives et santé mentale

La réalité virtuelle est une technologie définie comme un « domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel, le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs » (Fuchs et al., 2006, p. 8). Des équipements tels que des casques de réalité virtuelle qui contiennent des visiocasques en 3D (un casque contenant un écran permettant de voir en 3D) et des capteurs de mouvements qui permettent de rendre l'expérience immersive (Sagnier, Loup-Escande et Valléry, 2019). L'interaction entre la personne et le monde virtuel est possible grâce à des plateformes interactives qui captent la position, le mouvement ainsi que les présentations visuelles et sonores (Sagnier, Loup-Escande et Valléry, 2019). Différents domaines utilisent cette technologie, notamment le divertissement, l'éducation, l'immobilier, le tourisme mais surtout le secteur médical.

Effets de la réalité virtuelle sur la santé mentale

La réalité virtuelle prend de plus en plus de place en ce qui concerne le domaine de la santé mentale. Elle a démontré son efficacité dans le traitement de certains troubles comme l'anxiété et le stress post-traumatique (Maples-Keller et al., 2017 ; Freeman et al., 2017 ; Carl et al., 2019). Une méta-analyse menée par Fairburn et Patel (2017) traitant de l'efficacité de la thérapie d'exposition en utilisant la réalité virtuelle afin de traiter le trouble du stress post-traumatique. L'objectif était d'exposer progressivement des patient-e-s à des environnements virtuels qui avaient pour but de recréer des situations qui leur provoquaient de l'anxiété. Cette technique avait pour but de se confronter et se désensibiliser à la situation. Les résultats ont révélé une réduction des symptômes du trouble du stress post-traumatique en comparaison avec des techniques d'exposition traditionnelles. De plus, en utilisant la réalité virtuelle, les patient-e-s étaient plus assidu-e-s et régulier-ère-s dans leur traitement. Ils et elles respectaient mieux les séances prévues, étaient plus impliqué-e-s et allaient jusqu'au bout du protocole (Fairburn et Patel, 2017).

Roy (2001), confirme ce principe en définissant les différents mécanismes pour lesquels la réalité virtuelle est utile. Premièrement, comme Fairburn et Patel (2017), il confirme son utilité dans l'exposition progressive à un stimulus anxiogène car elle permet de reproduire ce sentiment d'anxiété tout en restant dans un environnement sécurisant (Roy, 2001). Le/La thérapeute peut adapter l'exposition selon la résistance du/de la patient-e, contrairement à une exposition in vivo où le ou la patient-e peut ressentir une angoisse trop intense et vouloir mettre fin à la thérapie (Roy, 2001). Ensuite, la réalité virtuelle déclenche une expérience émotionnelle plus intense grâce à son immersion totale, ce qui permet de reproduire des situations réelles sans pour autant mettre le/la

patient-e en danger. L'immersion peut permettre de changer les réponses émotionnelles et cognitives pour les rendre plus fonctionnelles. En outre, le traitement devient plus accessible pour des patient-e-s ayant des phobies difficiles d'accès pour un traitement classique comme la phobie de prendre l'avion, les phobies survenues à la suite d'événements dramatiques comme des guerres, des accidents, des agressions ou encore des catastrophes naturelles (Roy, 2001).

Enfin, le/la patient-e peut quitter l'environnement immersif à tout moment ce qui lui donne un sentiment de contrôle de son exposition au stimulus qu'il ou elle redoute, accroissant ainsi la confiance et diminuant l'anxiété (Roy, 2001). Tous ces éléments révèlent que la réalité virtuelle est un outil utile afin d'améliorer l'efficacité de certaines thérapies déjà existantes

Utilisation de la Réalité Virtuelle pour améliorer la relaxation et la méditation

Les techniques de relaxation et de méditation ont été reconnues comme étant efficace en ce qui concerne la gestion du stress et l'anxiété (Manzoni et al., 2008 ; Goyal et al., 2014 ; Sharma & Rush, 2014). Cependant, il existe de nombreux facteurs telles que les distractions de l'environnement et les difficultés de concentration qui peuvent limiter leur efficacité (Lachowicz et al., 2024 ; Olk et al., 2018). La réalité virtuelle est compatible avec la relaxation grâce au haut degré d'immersion qu'elle engendre (Fairburn et Patel, 2017). Elle permet aux participant-e-s de se retrouver dans un état de calme et d'améliorer leur perception du bien-être en utilisant des paysages naturels et des stimulations sensorielles apaisantes (Kazzi et al., 2018).

D'autres études récentes soulignent que la réalité virtuelle peut induire des états de relaxation (Riches et al., 2021 ; Xu et al., 2024 ; Döllinger et al., 2021). Comme Lachowicz et collègues (2024) qui ajoutent à cette expérience immersive des technologies qui permettent de simuler des sensations tactiles comme des brises douces, des sensations de vibrations ou de pression ou encore des stimulations tactiles en lien avec les éléments visuels et sonores projetés. En outre, une revue systématique des interventions de méditation en réalité virtuelle met en évidence l'efficacité de ces technologies dans la réduction du stress et de l'anxiété (Liu et Riecke, 2022). Par cette revue, différents avantages de la réalité virtuelle sont mis en avant, notamment, l'engagement sensoriel plus fort qui va rendre la méditation plus immersives et accessible à des personnes débutantes (Liu et Riecke, 2022). Les individus sont isolés de tout élément distracteur, dans une immersion totale, ce qui amène une amélioration de la concentration (Liu et Riecke, 2022). Enfin, la réalité virtuelle permet une diminution des niveaux d'anxiété et de stress, surtout pour des personnes qui ont des difficultés à se détendre en utilisant des méthodes dites plus traditionnelles (Liu et Riecke, 2022).

Flow, présence et engagement dans la réalité virtuelle (RV)

Csikszentmihalyi (1990) a élaboré la théorie du flow, qu'il définit comme un état de concentration optimale dans lequel l'individu est entièrement absorbé par l'activité qu'il réalise. Cet état serait facilité lors de pratiques de méditations guidées par l'utilisation de la réalité virtuelle (RV) (Riva et al., 2021 ; Seabrook et al., 2020). Il est essentiel de se sentir « présent-e », c'est-à-dire à l'intérieur de l'environnement virtuel et non comme une personne observatrice de l'extérieur (Slater & Wilbur, 1997). Une stimulation visuelle et auditive de haute qualité, associée à une interactivité riche et à des retours sensoriels, intensifie le sentiment de présence. En réunissant précisément ces caractéristiques, la réalité virtuelle élève cette présence subjective, ce qui se traduit par une diminution du niveau de stress (Fairburn & Patel, 2017 ; Navarro-Haro et al., 2017).

Questions de recherche et hypothèses

Questions de recherche

Question de recherche 1 : La méditation guidée en RV améliore-t-elle le bien-être émotionnel plus efficacement qu'un support vidéo/audio ?

Question de recherche 2 : La méditation guidée en RV réduit-elle davantage l'anxiété auto-rapportée ?

Question de recherche 3 : La méditation guidée en RV augmente-t-elle significativement le niveau de pleine conscience ?

Question de recherche 4 : La méditation guidée en RV induit-elle des changements physiologiques mesurés par l'électroencéphalogramme (EEG) ?

Hypothèses

H1 générale : La méditation guidée en RV entraînera une amélioration plus marquée du bien-être émotionnel, mesurée par une augmentation des affects positifs et une stagnation des affects négatifs, comparée à une méditation guidée avec support vidéo/audio.

H2 générale : La méditation guidée en RV réduira significativement l'anxiété auto-rapportée par les participant-e-s, par rapport au groupe utilisant le support vidéo/audio.

H3 générale : La méditation guidée en RV favorisera une augmentation significative de la pleine conscience des participant-e-s, comparativement à une méditation guidée avec support vidéo/audio.

H4 générale : La méditation immersive en RV entraînera des changements physiologiques indiquant un état de relaxation et d'engagement cognitif, notamment via des modifications dans plusieurs bandes de fréquences EEG (alpha, beta, thêta, gamma).

Ces hypothèses sont traduites en hypothèses opérationnelles comme suit :

H1 opérationnelle : Une séance unique de méditation guidée immersive en réalité virtuelle (RV) chez les personnes âgées entre 18 et 65 ans travaillant ou étudiant à l'Université de Fribourg, produira une amélioration plus marquée du bien-être émotionnel, caractérisée par une augmentation des affects positifs et une diminution des affects négatifs, mesurés par l'échelle PANAS (Watson et al., 1988, qu'une séance équivalente guidée non immersive (support vidéo/audio). Les mesures seront recueillies avant (pré) et après (post) la séance.

H2 opérationnelle : La méditation guidée immersive en RV entraînera une réduction plus importante de l'anxiété d'état, mesurés par le State-Trait Anxiety Inventory (STAI-Y ; Spielberger, 2015), auto-rapportée que la méditation guidée non immersive. Les mesures seront recueillies avant et après l'intervention.

H3 opérationnelle : Les scores de pleine conscience, mesurés par le State Mindfulness Scale (SMS ; Lau et al., 2006), augmenteront significativement après une séance de méditation guidée en RV comparativement à une séance guidée avec support vidéo/audio. Les mesures seront recueillies immédiatement avant et après l'intervention.

H4 opérationnelle : Chez les participant-e-s exposé-e-s à une séance de méditation immersive en RV, l'activité EEG enregistrée dans différentes bandes de fréquence (alpha, beta basse et haute, thêta, gamma) présentera des variations spécifiques après la séance. On s'attend notamment à une augmentation de l'activité alpha (8–12 Hz) et thêta (4–7 Hz), indicateurs de relaxation, et à une possible diminution des bandes beta (13–30 Hz) et gamma (>30 Hz), associées à une activation cognitive.

Méthode

Cette étude s'inscrit dans un protocole plus large comprenant une tâche de récompense (Fribourg Reward Task ; Tandon et al., 2022), un questionnaire d'expérience utilisateur-trice (USEQ – User Experience Questionnaire ; Slater, 2017), ainsi que des mesures électrodermales et électrocardiographiques. Seuls les instruments et données pertinents pour les objectifs de la présente étude sont décrits ci-dessous.

Personnes participantes

L'échantillon cible prévu pour ce projet était de 100 participant-e-s francophone âgé-e-s de 18 à 65 ans, recruté-e-s principalement via les réseaux sociaux, des affiches au sein de l'Université de Fribourg et le bouche-à-oreille. Finalement, 64 participant-e-s ont été inclus-e-s dans l'étude. Toutefois, par manque de temps nécessaire pour le traitement des données physiologiques, seuls 55 participant-e-s ont pu être analysés. Après une vérification plus approfondie des données, une exclusion partielle en raison de problèmes techniques ou de données inexploitable a été réalisée, réduisant l'échantillon final à 48 participant-e-s (79.2% de femmes (N=38), 18.8% d'hommes (N=9) et 2.1% de personnes d'un autre genre (N=1)) (Voir Tableau 1)

L'échantillon final se répartit en deux groupes : un groupe contrôle composé de 26 participant-e-s (88.5 % de femmes (N=23), 7.7 % d'hommes (N=2) et 3.8 % de personnes d'un autre genre (N=1)), et un groupe expérimental comprenant 22 participant-e-s (68.2 % de femmes (N=15) et 31.8 % d'hommes (N=7)).

Le Comité d'éthique du Département de psychologie a approuvé cette étude. Toutes les données ont été collectées et traitées de façon codée afin de garantir la confidentialité des participant-e-s, sans possibilité de les identifier directement. Ces dernier-ère-s avaient la possibilité de se retirer de l'étude à tout moment et ce, sans conséquences. La participation à l'étude était faite de façon totalement volontaire.

En échange de leur participation, les étudiant-e-s en psychologie de l'Université de Fribourg ont reçu 1,5 points d'expérience, tandis que les autres participant-e-s ont été motivé-e-s par leur intérêt pour la méditation et leur désir de contribuer à l'avancement des connaissances scientifiques.

Tableau 1

Échantillon selon le genre

Genre	Nombre	Âge moyen	Écart-type
Femme	38	24,37	6,52
Homme	9	24,56	2,44
Autre	1	39,00	0,00

Matériel

Mesures de l'efficacité par auto-questionnaires

PANAS - Positive and Negative Affect Schedule (Watson et al., 1988). Le PANAS est une échelle développée par Watson et ses collaborateurs (1988) qui mesure les états affectifs qu'ils soient positifs ou négatifs d'un individu sur une période donnée. Il s'agit d'une échelle qui comprends 20 items, dont 10 items pour l'affect positif (PA) qui comprends l'enthousiasme, l'inspiration, l'excitation, l'intérêt, la détermination, la force, l'attention, l'alerte, la fierté et l'activité. A ces items s'en ajoutent 10 autres pour l'affect négatif (NA) qui englobe l'irritabilité, l'hostilité, la culpabilité, la frayeur, la nervosité, l'agitation, la honte, l'anxiété, la détente et la tristesse. Chaque item est évalué par le participant-e lui/elle-même sur une échelle de Likert allant de 1 (pas du tout) à 5 (extrêmement) (Watson et al., 1988). Pour l'analyse des scores, plus le PA est élevé, plus l'état émotionnel positif est fort et plus le NA est élevé, plus la personne ressent des émotions négatives (Watson et al., 1988). En conclusion, cette échelle permet de voir si la méditation guidée en réalité virtuelle influence les émotions, qu'elles soient positives ou négatives des participant-e-s avant et après l'expérience.

STAI-Y – State-Trait Anxiety Inventory – Form Y (Spielberger, 1983). Le STAI-Y est une échelle constituée par Spielberger (1983) ayant pour objectif de mesurer l'anxiété. On y distingue deux types d'anxiété – State Anxiety (STAI-Y1) et Trait Anxiety (STAI- Y2) Le State Anxiety mesure l'anxiété d'état, ce qui signifie l'anxiété qui est ressentie à un moment donné, comme avant un examen important. Le Trait Anxiety quant à lui mesure l'anxiété de trait, c'est-à-dire la tendance qu'a l'individu à ressentir de l'anxiété dans sa vie quotidienne. Chaque questionnaire contient 20 items notés de 1 (pas du tout) à 4 (très souvent) et plus le score est élevé plus le niveau d'anxiété est important (Spielberger, 1983). Lors de cette expérience, la STAI-Y1 permet de déterminer si la méditation en réalité virtuelle réduit l'anxiété momentanée après la séance.

SMS – State Mindfulness Scale (Tanay et Bernstein, 2013). Le State Mindfulness Scale est une échelle de Tanay et Bernstein (2013) qui mesure la pleine conscience à un moment donné, c'est-à-dire la capacité d'une personne à être pleinement consciente et présente de l'expérience qu'elle est en train de vivre. L'échelle comprends 21 items répartis en deux sous-échelles – l'attention aux pensées (Mindfulness Cognitive) et l'attention aux sensations physiques (Mindfulness Somatique). Les réponses se cotent de 1 (pas du tout) à 5 (très vrai pour moi) et plus le score sera élevé, plus le participant-e est dans un état de pleine conscience (Tanay et Bernstein, 2013). Cette échelle permettra de voir si la méditation en réalité virtuelle favorise un état plus profond de pleine conscience par rapport à la condition contrôle (vidéo/audio).

EEG – Électroencéphalogramme. L'EEG est un appareil qui permet de capter l'activité électrique du cerveau grâce à des électrodes placés sur le cuir chevelu. Le signal donné permet d'analyser différentes bandes de fréquences cérébrales : alpha, bêta, thêta et gamma. La puissance des bandes de fréquences cérébrale représente l'intensité de l'activité cérébrale à une fréquence donnée. Elle fournit des indications sur les états cognitifs et physiologiques de l'individu (Banquet, 1973). L'onde thêta (4-8 Hz) est associée à un état de somnolence, au début du sommeil ainsi qu'aux processus mnésiques qui impliquent l'hippocampe. Lors d'un effort mental ou lorsque l'on sollicite énormément la mémoire de travail, une augmentation de l'activité thêta frontale peut être observée (Banquet, 1973). En méditation, l'activité thêta augmente au niveau frontal et central, ce qui reflète un état de relaxation profond (Banquet, 1973). L'onde alpha (8-12 Hz) quant à elle, est liée à un état de relaxation vigilante lorsque les yeux sont fermés. Cette onde est assimilée à de l'inhibition ce qui est généralement lié à un repos cortical ou à un filtrage de l'information non pertinente (Banquet, 1973). Lors d'une tâche de méditation, l'onde alpha augmente fréquemment dans les régions occipitales et frontales ce qui induit une réduction des pensées automatiques (Banquet, 1973). Ensuite, l'onde bêta (12-30 Hz) est active lors d'états d'éveil, d'attention soutenue et de concentration. Elle est impliquée dans la motricité et lors d'états anxieux ou d'agitation. Cette activité devrait donc diminuer lorsque l'individu est en méditation (Banquet, 1973). Toutefois, cette activité peut encore exister à basse fréquence pendant une méditation qui demande une attention focalisée comment de se concentrer sur sa respiration (Banquet, 1973). Enfin, l'activité de gamma (30+ Hz) est impliquée dans les processus cognitifs avancés comme l'attention, la perception et la conscience. Si l'activité de cette onde augmente, elle peut être un indice de l'expérience de l'individu en méditation car elle suggère un état de conscience profonde qui est généralement possible lors de méditations intensives de longue durée (Banquet, 1973).

Matériel utilisé. Dans le cadre de cette étude, plusieurs dispositifs technologiques ont été utilisés afin d'enregistrer les données physiologiques des participant-e-s de manière précise et fiable. Ces dispositifs ont été installés avant la phase de baseline et sont restés actifs tout au long de l'expérience.

Réalité virtuelle (RV). Dans la condition expérimentale, la séance de méditation guidée a été diffusée à l'aide de l'application Guided Meditation via le casque Oculus Quest 2, un casque de réalité virtuelle autonome. Grâce à ce dispositif les participant-e-s peuvent vivre une expérience immersive multisensorielle, notamment par la stimulation visuelle à 360° et l'audio spatial (Oculus, 2021). Ces éléments favorisent un engagement plus profond dans la méditation (Gorini et al., 2011; Oculus, 2021). La vidéo utilisée représentait un paysage apaisant de lac un jour de beau temps : l'utilisateur·trice se retrouvait sur un petit ponton entouré de nature, avec une vue dégagée sur l'eau,

le ciel bleu et de la végétation tout autour. Une voix féminine en anglais, guidait la séance en donnant des instructions de méditation en pleine conscience. Elle invitait à se concentrer sur la respiration et les sensations corporelles (Guided Meditation, 2023).

Support vidéo/audio (condition contrôle). Dans la condition contrôle, le même contenu de méditation guidée était présenté sous forme de vidéo/audio sur un écran d'ordinateur, avec l'utilisation d'écouteurs. Cela permet de comparer les effets de l'immersion immersive (VR) à un support traditionnel. La vidéo, intitulée 8 Minutes of Mindfulness, présentait une image figée d'une femme en position méditative, assise en tailleur, le visage non visible. Une voix féminine en anglais, guidait la séance en donnant des instructions de pleine conscience, accompagnée d'une musique de fond douce favorisant la détente (Take Care Coaching, n.d.).

Ordinateur et pilotage de l'expérience. L'ensemble de l'expérimentation a été piloté à l'aide d'un ordinateur Dell OptiPlex sous Windows 11, qui permettait à la fois de lancer les tâches, de collecter les données physiologiques, et de contrôler la diffusion des supports expérimentaux.

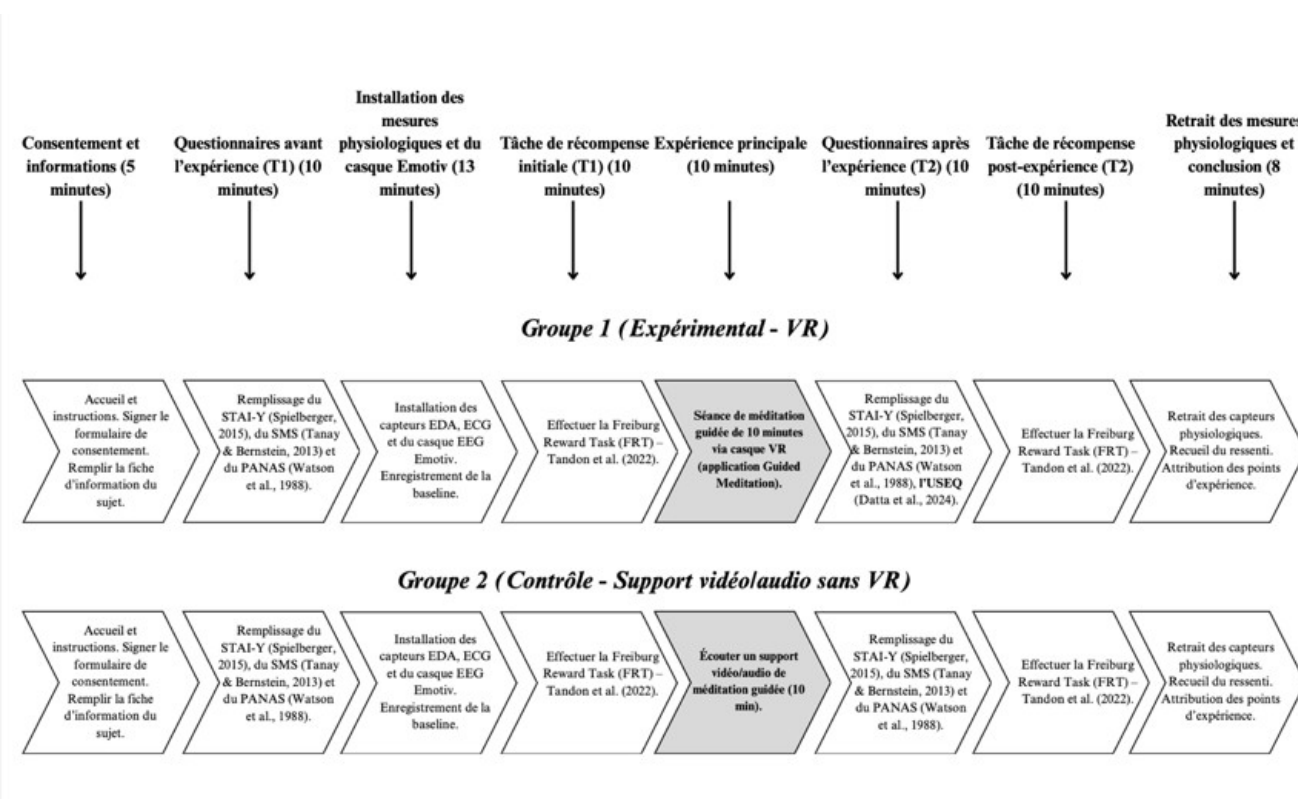
Traitement des données physiologiques. Le traitement des données physiologiques (issues de l'EEG, de l'ECG et de l'EDA) a été réalisé par MP à l'aide du langage informatique Python (version 3.11.11), en utilisant principalement la bibliothèque NeuroKit2 (Makowski et al., 2021), qui permet d'analyser facilement des données biologiques complexes. Pour les données cardiaques (ECG), les fonctions de NeuroKit2 ont permis d'obtenir plusieurs indicateurs importants, comme la fréquence cardiaque moyenne, la variabilité du rythme cardiaque (un signe de bonne régulation physiologique) et la proportion de battements irréguliers (Pham et al., 2021). Le traitement des données liées à la transpiration de la peau (EDA) a permis de mesurer le nombre de réactions électriques de la peau, leur intensité et les signaux liés à l'activité du système nerveux autonome (sympathique) (Makowski et al., 2021). Les signaux enregistrés par le casque EEG (Emotiv EPOC+) ont été analysés pour calculer la puissance des différentes ondes cérébrales : alpha, bêta, thêta et gamma. Une attention particulière a été portée aux ondes alpha, qui sont souvent associées à un état de calme et de relaxation, comme celui que l'on cherche à atteindre lors de la méditation. Pour structurer les données, des repères temporels ont été insérés pendant l'enregistrement, afin de distinguer les différentes phases de l'expérience (repos, tâche, méditation, etc.). Quand ces repères étaient absents ou incorrects, MP a ajusté les périodes manuellement en se basant sur les durées moyennes observées. Enfin, toutes les données physiologiques traitées ont été réunies dans un même fichier afin de pouvoir effectuer les analyses statistiques présentées dans la section « Résultats ».

Procédure

Cette étude suit un design intra-sujet et comprend 64 participant-e-s âgé-e-s de 18 à 65 ans, travaillant ou étudiant à l'Université de Fribourg. L'assignation à un groupe se fait de façon aléatoire : les participant-e-s pouvaient soit assigné-e-s au groupe expérimental, qui effectuait une séance de méditation guidée en réalité virtuelle (VR) à l'aide de l'application Guided Meditation en utilisant le casque Oculus Quest 2, soit au groupe contrôle, qui suivait la même séance de méditation guidée mais sous forme de support vidéo/audio. L'expérience avait une durée totale de 90 minutes et se déroulait en plusieurs étapes. En premier lieu, les participant-e-s sont accueilli-e-s et prennent connaissance de toutes les explications nécessaires. Ils signaient ensuite un formulaire de consentement éclairé qui les informe de la possibilité de se rétracter à tout moment, sans conséquence négative. Dans un second temps, ils/elles répondaient à plusieurs questionnaires (temps 1), incluant le PANAS (Watson et al., 1988), le STAI-Y (Spielberger, 2015), et le SMS (Tanay et Bernstein, 2013). A ces échelles s'ajoute un questionnaire sociodémographique comportant l'âge, le genre, l'emploi ainsi que la familiarité à la méditation et à la réalité virtuelle. Après avoir rempli les évaluations, vient le moment d'installer les mesures physiologiques, notamment les capteurs d'activité électrodermale (EDA), d'électrocardiogramme (ECG) et le casque EEG Emotiv pour enregistrer l'activité cérébrale. Une baseline est collectée avant toute stimulation. Ensuite, les participant-e-s effectuent une première fois la Freiburg Reward Task (FRT), une tâche sur ordinateur qui permet d'évaluer la sensibilité à la récompenser lors de réponses rapides à des stimuli visuo-spatiaux selon différents niveaux de récompense monétaire (Tandon et al., 2022). Une fois cette première phase terminée, la séance de méditation guidée d'une durée d'environ 10 minutes va commencer. Elle peut avoir lieu soit via le casque de réalité virtuelle pour les participant-e-s associé au groupe expérimental, soit via un support vidéo/audio pour le groupe contrôle. À la suite de cette séance, les participant-e-s doivent une seconde fois répondre à une série de questionnaires (temps 2), avec les mêmes échelles qu'en pré-expérience (PANAS ; STAI-Y, SMS). A ces évaluations s'ajoutait l'USEQ, un questionnaire de satisfaction utilisateur, uniquement pour les participant-e-s du groupe en réalité virtuelle (Datta et al., 2024). Enfin, l'expérience se termine par la réalisation une deuxième fois de la Freiburg Reward Task (FRT) afin de mesurer les éventuels effets de la méditation sur la performance cognitive et sur l'état émotionnel. Une fois l'expérience terminée, tous les capteurs physiologiques sont retirés, un court retour sur le ressenti des participant-e-s est fait et les points d'expérience sont attribués aux sujets pour lesquels cela est applicable.

Figure 2

Tableau de procédure



Résultats

Cette section présente les effets d'une séance unique de méditation guidée — immersive en réalité virtuelle (RV) ou non immersive (vidéo / audio) — sur quatre variables : (1) le bien-être émotionnel (PANAS), (2) l'anxiété d'état (STAI-Y), (3) la pleine conscience d'état (State Mindfulness Scale ; SMS) et (4) l'activité électro-encéphalographique (EEG). Sauf indication contraire, les analyses ont été réalisées avec R 4.3.2 sous RStudio 2023.12.1 + 402. Les valeurs de $p < .05$ sont considérées comme significatives. Un point important à noter : Les effectifs sont modestes ($n = 23$ vidéo ; $n = 25$ RV) et plusieurs hypothèses paramétriques (normalité, homogénéité des variances, sphéricité) sont violées. Les tests non paramétriques seront systématiquement reportés en appui des résultats d'ANOVA mixtes, reconnues pour leur relative robustesse.

Dans cette étude, les effets d'une séance de méditation guidée immersive en réalité virtuelle (RV) ont été comparés à une méditation guidée via un support vidéo/audio classique, sur plusieurs variables psychologiques et physiologiques. Plus précisément, nous avons testé quatre hypothèses principales. Premièrement, nous avons exploré si la méditation immersive en RV entraînait une amélioration plus marquée du bien-être émotionnel, mesuré par une augmentation des affects

positifs et une stagnation des affects négatifs (H1). Deuxièmement, nous avons vérifié si cette modalité immersive permettait de réduire significativement l'anxiété auto-rapportée (H2). Troisièmement, nous avons examiné si elle favorisait une augmentation du niveau de pleine conscience (H3). Enfin, nous avons analysé si cette expérience immersive provoquait des modifications spécifiques de l'activité cérébrale, enregistrée par EEG, telle qu'une augmentation des bandes alpha et thêta, et une diminution des bandes bêta et gamma (H4).

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel RStudio (version 2023.12.1+402), en suivant les recommandations du Guide R de l'Université de Fribourg (édition 2023). Les données ont été organisées et encodées manuellement dans Microsoft Excel pour Mac (version 16.95.4, licence Microsoft 365). L'ensemble des analyses ont été effectué sur un MacBook Pro (modèle 2019). Enfin, certains graphiques qui illustrent les effets d'interaction ont été générés avec l'aide de l'intelligence artificielle ChatGPT-4o. Les résultats sont considérés comme non significatifs pour une valeur $p > .05$.

Effets sur le bien-être émotionnel (PANAS)

Conditions d'application. Les analyses ont été réalisées après avoir retiré les outliers, afin d'assurer une meilleure robustesse des résultats. L'indépendance des observations est respectée dans cette étude, chaque participant-e a répondu de manière individuelle et n'a participé qu'à une seule condition. Les tailles d'échantillon sont comparables entre les groupes (vidéo : $N = 23$; réalité virtuelle : $N = 25$), ce qui respecte le critère de $2n_1 > n_2$. Les histogrammes montrent que les variables PANAS positives (à l'exception de PANAS_Pos_avant_video) sont relativement symétriques et proches d'une distribution normale, bien que légèrement platikurtiques. En revanche, les variables PANAS négatives (avant et après, dans les deux conditions) présentent une asymétrie positive marquée (effet plancher) et une distribution non normale. Les boxplots montrent encore quelques valeurs extrêmes dans le groupe vidéo, malgré le retrait des outliers. Ces valeurs extrêmes ont été conservées car elles n'ont pas d'impact sur la validité des analyses. Globalement, les moustaches sont symétriques et les médianes centrées, sauf pour les PANAS négatifs, qui montrent une absence de moustache inférieure et une forte concentration des scores vers le bas. Les tests de Kolmogorov-Smirnov, sont tous significatifs ($p < .05$), indiquant une non-normalité statistique pour l'ensemble des variables. Les scores de PANAS négatifs présentent les plus fortes déviations. Le test de Levene est significatif pour toutes les variables PANAS ($p < .001$), indiquant une hétérogénéité des variances. Le test de Box est également significatif, $\chi^2(10) = 164.04$, $p < .001$, ce qui suggère que l'homogénéité de la matrice de covariances n'est pas respectée. Ces résultats justifient l'utilisation de tests non paramétriques pour certaines analyses.

Analyse statistique principale. Une ANOVA mixte 2 (Moment : avant vs après) × 2 (Affect : positif vs négatif) × 2 (Condition : vidéo vs réalité virtuelle) a été réalisée sur les scores PANAS. Les résultats montrent un effet principal significatif du Moment, $F(1, 47) = 73.83, p < .001, \eta^2 = .236$, avec une diminution générale des scores de bien-être entre les évaluations pré et post. L'effet principal de l'Affect est également significatif, $F(1, 47) = 107.33, p < .001, \eta^2 = .311$: les affects positifs ($M = 2.88, SD = 0.67$) sont plus élevés que les affects négatifs ($M = 1.31, SD = 0.35$), toutes conditions confondues. L'effet principal de la Condition est aussi significatif, $F(1, 46) = 14.81, p < .001, \eta^2 = .059$, avec des scores plus élevés en réalité virtuelle ($M = 2.18, SD = 0.44$) qu'en condition vidéo ($M = 2.00, SD = 0.28$) (Tableau 2). Trois interactions significatives ont été observées. L'interaction Moment × Affect est significative, $F(1, 47) = 62.24, p < .001, \eta^2 = .211$, ce qui indique une diminution des affects négatifs post-séance, tandis que les affects positifs restent stables. L'interaction Moment × Condition est également significative, $F(1, 46) = 7.37, p = .007, \eta^2 = .030$, ce qui montre une variation différenciée des scores pré/post en fonction du support utilisé. Enfin, l'interaction à trois facteurs Moment × Affect × Condition est aussi significative, $F(1, 47) = 4.04, p = .046, \eta^2 = .017$ (Figures 3 et 4).

Tableau 2

Résultats de l'ANOVA mixte 2 (Moment : Pré vs Post, intra-sujet) × 2 (Affect : Positif vs Négatif, intra-sujet) × 2 (Condition : Vidéo vs RV, inter-sujet) sur les affects (PANAS)

Effet	<i>F</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>p</i>	<i>np²</i>
Moment	73.83	1	47	< .001	0.62
Affect	107.33	1	47	< .001	0.7
Condition	14.81	1	46	< .001	0.24
Moment × Affect	62.24	1	47	< .001	0.58
Moment × Condition	7.37	1	46	.009	0.14
Affect × Condition	1.02	1	46	.318	0.02
Moment × Affect × Condition	4.04	1	47	.049	0.08

Note. η^2 = taille d'effet partielle. Les valeurs $p < .05$ sont considérées comme significatives.

Figure 3

Graphique d'interaction PANAS avant et après la méditation en fonction du type d'affect et de la condition.

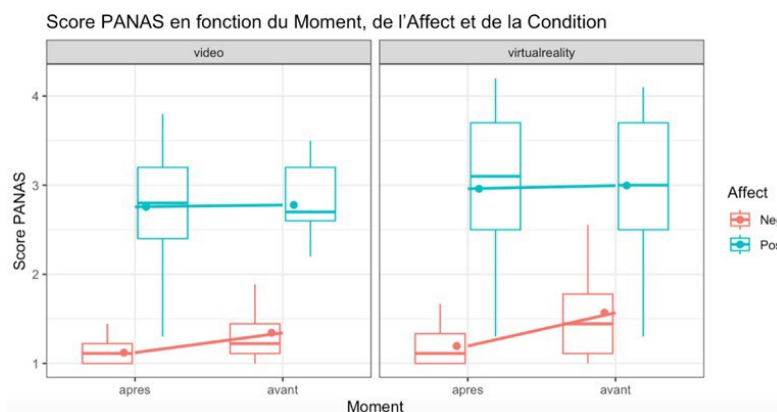
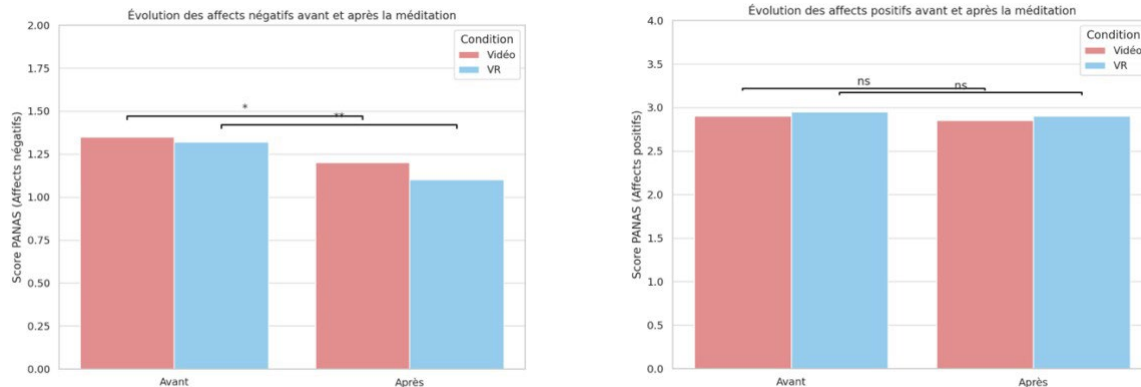


Figure 4

Évolution des affects positifs et négatifs (PANAS) avant et après la séance de méditation, selon la condition expérimentale (vidéo vs réalité virtuelle). Les barres représentent les moyennes, les accolades indiquent les comparaisons significatives (* $p < .05$; ** $p < .001$) (OpenAI, 2025).



Analyses complémentaires et exploratoires. Les conditions d'application de l'ANOVA (normalité et homogénéité des variances) n'étant pas respectées, des tests non paramétriques (Wilcoxon) ont été utilisés en complément pour renforcer les analyses et comparer les résultats obtenus. Les résultats des tests de Wilcoxon confirment les observations faites avec l'ANOVA. En effet, aucune différence significative n'a été trouvée dans l'évolution des affects positifs entre les conditions réalité virtuelle et vidéo ($W = 5962.5$, $p = .562$), ce qui confirme les résultats de l'ANOVA pour les effets principaux de l'Affect. Cependant, les tests de Wilcoxon valident la réduction significativement plus importante des affects négatifs dans la condition réalité virtuelle ($W = 6675$, p

= .030) comparée à la condition vidéo. Pour les tests intra-groupes, les analyses Wilcoxon ont également révélé une réduction significative des affects négatifs dans chaque groupe (réalité virtuelle : $W = 512.5$, $p < .001$; vidéo : $W = 52.5$, $p < .001$), ce qui confirme les résultats des analyses de l'ANOVA.

Dans l'ensemble, les résultats soutiennent partiellement l'hypothèse principale. Une séance de méditation guidée en réalité virtuelle provoque une réduction significative des affects négatifs, sans réellement impacter les affects positifs. Le support immersif semble donc particulièrement efficace pour réduire les émotions désagréables, même si son effet sur les émotions positives reste stable mais non amplifié.

Effets sur l'anxiété auto-rapportée (STAI)

Conditions d'application. Les analyses ont été réalisées après avoir retiré les outliers, afin d'assurer une meilleure robustesse des résultats. L'indépendance des observations est respectée dans cette étude, chaque participant-e a répondu de manière individuelle et n'a participé qu'à une seule condition. Les tailles d'échantillon sont similaires entre les groupes (vidéo : $N = 23$; réalité virtuelle : $N = 25$), ce qui respecte le critère de $2n_1 > n_2$. Les histogrammes des scores STAI avant et après la séance, dans les deux groupes, montrent des distributions symétriques. Il n'y a pas une grande asymétrie ni d'aplatissement extrême. Les boxplots, ont été réalisés sans les valeurs extrêmes et ont révélé une répartition homogène des scores dans chaque condition. Les médianes se situaient relativement au centre et aucun outliers résiduels n'était présent. La dispersion semble similaire dans les deux groupes, avec des moustaches équilibrées. Cependant, les tests de Kolmogorov-Smirnov réalisés sur les données montrent des résultats significatifs pour l'ensemble des variables ($p < .001$ pour tous les tests), indiquant une déviation statistiquement significative de la normalité pour les scores STAI, tant avant qu'après la séance. Bien que la taille de l'échantillon soit inférieure à 50 dans chaque groupe, et que les histogrammes ne révèlent pas de déviation majeure, cette violation doit être interprétée avec prudence. Afin de renforcer la robustesse des résultats, des analyses non paramétriques seront également effectuées. Les résultats du test de Levene pour l'homogénéité des variances sont non significatifs pour les scores avant ($F(1, 46) = 3.29$, $p = .071$) et après ($F(1, 46) = 1.46$, $p = .229$), indiquant que la condition d'égalité des variances est respectée. En outre, le test de Box, utilisé pour évaluer l'homogénéité des matrices de variances-covariances, n'est pas significatif ($\chi^2(3) = 5.94$, $p = .115$), ce qui suggère que cette condition est également remplie. En résumé, bien que les scores STAI ne respectent pas l'hypothèse de normalité selon les tests statistiques, les autres conditions d'application – homogénéité des variances, homogénéité des matrices de variances-covariances, indépendance des observations et équilibre

des groupes – sont respectées. L'aspect visuel des distributions, relativement symétriques et sans valeurs extrêmes, soutient le recours à des analyses paramétriques. Toutefois, des tests non paramétriques seront conduits en parallèle afin de valider la robustesse des résultats obtenus.

Analyse statistique principale. Une ANOVA mixte 2 (Moment : avant vs après) × 2 (Condition : vidéo vs réalité virtuelle) a été réalisée afin d'évaluer l'effet d'une session de méditation guidée sur l'anxiété état, mesurée par le STAI-Y (Spielberger, 2015), chez des personnes âgées entre 18 et 65 ans et travaillant ou étudiant à l'Université de Fribourg. Les résultats montrent un effet principal significatif du Moment, $F(1, 47) = 5.50, p = .020, \eta^2 = .006$, indiquant une légère diminution des scores d'anxiété état entre l'évaluation avant ($M = 2.23, SD = 0.21$) et après ($M = 2.26, SD = 0.19$) la séance, tous groupes confondus. En revanche, l'effet principal de la Condition (vidéo vs réalité virtuelle) n'est pas significatif, $F(1, 46) = 1.74, p = .188, \eta^2 = .006$. Cela suggère qu'il n'y a pas de différence significative de scores d'anxiété entre les participant-e-s des deux groupes peu importe le moment. De plus, l'interaction entre le Moment et la Condition n'est pas significative, $F(1, 47) < 0.01, p = .991, \eta^2 < .001$. Cela signifie que la variation des scores d'anxiété état pré/post n'est pas atténuée par la condition (réalité virtuelle vs vidéo). L'analyse des moyennes montre des résultats similaires entre les groupes. Dans la condition réalité virtuelle, les scores d'anxiété diminuent légèrement après la séance ($M = 2.24, SD = 0.23$ avant ; $M = 2.27, SD = 0.20$ après). Cela est également observée dans le groupe vidéo ($M = 2.21, SD = 0.20$ avant ; $M = 2.24, SD = 0.17$ après). Les graphiques d'interaction suggèrent une évolution similaire des deux groupes (Figures 5 et 6)

Figure 5

Graphique d'interaction d'anxiété état (STAI-Y) en fonction du moment de mesure et de la condition expérimentale

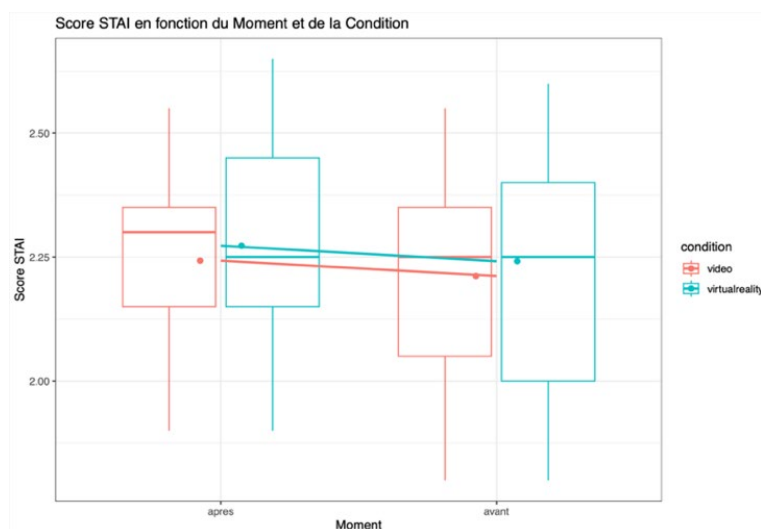
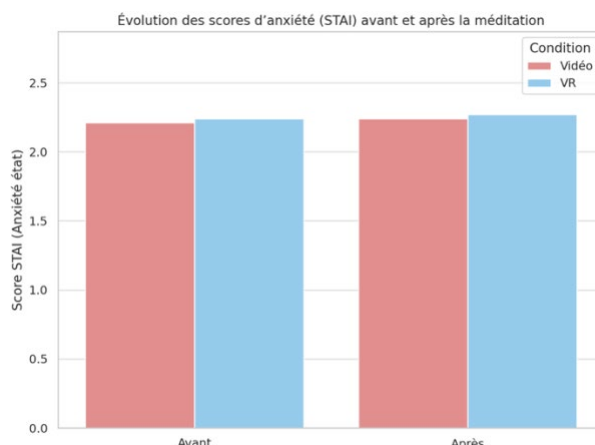


Figure 6

Scores moyens d'anxiété état (STAI-Y) avant et après la séance de méditation, selon la condition expérimentale (vidéo vs réalité virtuelle) (OpenAI, 2025)



Analyses complémentaires et exploratoires. Les conditions d'application de l'ANOVA (normalité et homogénéité des variances) n'étant pas respectées, des tests non paramétriques (Wilcoxon) ont été utilisés en complément pour renforcer les analyses et comparer les résultats obtenus. Les résultats des tests de Wilcoxon confirment les observations faites avec l'ANOVA. Aucune différence significative n'a été trouvée dans l'évolution des scores d'anxiété avant et après l'intervention dans le groupe contrôle (vidéo) ($Mdn = 2.25$, $IQR = 0.35$ avant ; $Mdn = 2.25$, $IQR = 0.225$ après ; $W = 1766.5$, $p = .656$), ce qui confirme les résultats de l'ANOVA pour les effets principaux du Moment. De même, dans le groupe expérimental (réalité virtuelle), les scores d'anxiété avant et après l'intervention sont similaires ($Mdn = 2.25$, $IQR = 0.35$ avant ; $Mdn = 2.25$, $IQR = 0.225$ après ; $W = 2786$, $p = .426$) donc comme pour l'ANOVA, les résultats restent stables. La comparaison entre les groupes vidéo et réalité virtuelle sur la différence des scores STAI a également montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes ($Mdn = 0.00$, $IQR = 0.20$ dans les deux conditions ; $W = 7044$, $p = .745$), soutenant les résultats de l'ANOVA. Cela suggère que la méditation guidée, qu'elle soit en format vidéo ou en réalité virtuelle, n'a pas provoqué de changement au niveau de l'anxiété rapportés par les participant-e-s.

En conclusion, bien que l'anxiété état diminue significativement après la séance de méditation, cette réduction n'est pas significativement différente entre les groupes. Ces résultats ne permettent donc pas de confirmer l'hypothèse selon laquelle la méditation guidée en réalité virtuelle provoque une diminution plus marquée de l'anxiété état comparée à un support vidéo/audio classique.

Effets sur la pleine conscience (SMS)

Conditions d'application. Les analyses ont été réalisées après avoir retiré les outliers, afin d'assurer une meilleure robustesse des résultats. L'indépendance des observations est respectée dans cette étude, chaque participant-e a répondu de manière individuelle et n'a participé qu'à une seule condition. Les tailles d'échantillon sont similaires entre les groupes (vidéo : $N = 22$; réalité virtuelle : $N = 25$), ce qui respecte le critère de $2n_1 > n_2$. Les histogrammes des scores de pleine conscience (mesurés par le SMS) avant et après la méditation montrent des distributions symétriques. Il n'y a pas d'asymétrie ni d'aplatissement extrême. Les boxplots, ont été réalisés sans valeurs extrêmes et ont révélé une répartition homogène des scores dans chaque condition. La médiane n'est pas décalée et il n'y a pas d'outliers résiduels. Les moustaches sont équilibrées ce qui révèle une dispersion similaire dans les deux groupes. Cependant, les tests de Kolmogorov-Smirnov réalisés sur les données montrent des résultats significatifs pour l'ensemble des groupes et des temps de mesure ($p < .05$), indiquant une déviation significative de la normalité pour les scores de pleine conscience. Bien que la taille de l'échantillon soit relativement grande, cette violation doit être interprétée avec prudence. Les résultats du test de Levene pour l'homogénéité des variances sont significatifs pour les scores avant l'intervention ($F(1, 46) = 10.12, p < .001$), mais non significatifs pour les scores après l'intervention ($F(1, 46) = 2.86, p = .083$), ce qui suggère une violation partielle de cette hypothèse. En outre, le test de Box a révélé une violation de l'homogénéité des matrices de covariance ($\chi^2(3) = 35.21, p < .001$), ce qui suggère que cette condition n'est pas respectée. Malgré ces violations, l'ANOVA mixte est réputée robuste, en particulier en cas d'échantillons de taille relativement équilibrée, ce qui est le cas ici. Les analyses ont donc été poursuivies avec prudence, et des tests non paramétriques complémentaires ont été effectués pour valider la robustesse des résultats obtenus.

Analyse statistique principale. Une ANOVA mixte 2 (Moment : avant vs après) \times 2 (Condition : vidéo vs réalité virtuelle) a été réalisée afin d'évaluer l'effet d'une session de méditation guidée sur la pleine conscience, mesurée par le Short Mindfulness Scale (SMS). Les résultats montrent un effet principal significatif du Moment, $F(1, 47) = 404.49, p < .001, \eta^2 = .38$, indiquant une augmentation significative des scores de pleine conscience entre le pré-test ($M = 2.86, SD = 0.69$) et le post-test ($M = 3.76, SD = 0.45$), tous groupes confondus. Un effet principal significatif de la Condition a également été observé, $F(1, 46) = 6.60, p = .011, \eta^2 = .02$, montrant des scores plus élevés dans le groupe vidéo ($M = 3.39, SD = 0.52$) par rapport au groupe réalité virtuelle ($M = 3.24, SD = 0.40$). L'interaction entre le Moment et la Condition n'est pas significative, $F(1, 47) = 3.41, p = .066, \eta^2 = .005$, suggérant que l'évolution des scores de pleine conscience au fil du temps est

similaire dans les deux conditions expérimentales. Les représentations graphiques confirment visuellement cette tendance (Figures 7 et 8)

Figure 7

Graphique d'interaction de pleine conscience (SMS) en fonction du moment de mesure et de la condition expérimentale

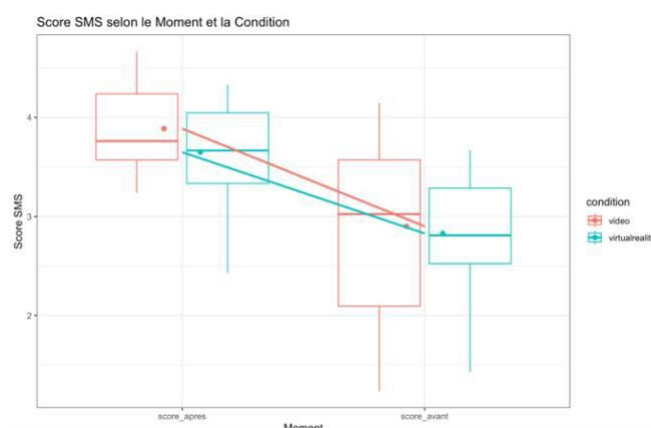
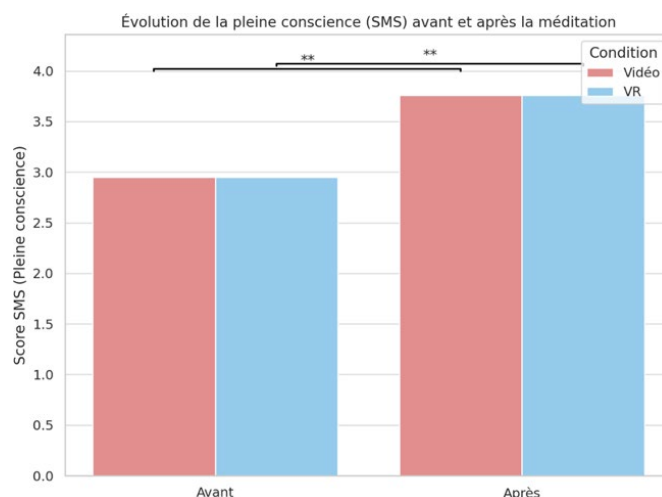


Figure 8

Évolution des scores de pleine conscience (Short Mindfulness Scale) avant et après la séance de méditation, selon la condition expérimentale (OpenAI, 2025)



Analyses complémentaires et exploratoires. Étant donné le non-respect de la normalité des distributions et de l'homogénéité des variances dans plusieurs conditions, bien que les tests paramétriques soient robustes, des tests non paramétriques (Wilcoxon) ont été réalisés pour compléter l'interprétation des résultats. Les résultats des tests de Wilcoxon confirment les observations faites avec l'ANOVA. Dans le groupe contrôle (vidéo), les scores de pleine conscience

ont augmenté de manière significative entre le pré-test ($Mdn = 2.95$, $IQR = 1$) et le post-test ($Mdn = 3.76$, $IQR = 0.76$), $W = 5900$, $p < .001$. De même, dans le groupe expérimental (réalité virtuelle), une augmentation significative est également observée entre le pré-test ($Mdn = 2.95$, $IQR = 1$) et le post-test ($Mdn = 3.76$, $IQR = 0.81$), $W = 7655$, $p < .001$. La comparaison intergroupe entre les groupes vidéo et réalité virtuelle, réalisée à l'aide d'un test de Wilcoxon pour échantillons indépendants, n'a pas révélé de différence significative sur la différence des scores (pré-post) ($W = 7912.5$, $p = .6402$). Cela suggère que, bien que la pleine conscience augmente de manière significative après l'intervention dans les deux groupes, l'effet n'est pas significativement plus marqué dans la condition réalité virtuelle par rapport à la condition vidéo.

Modulation de l'activité cérébrale (EEG)

Conditions d'application. Avant d'interpréter les résultats de l'ANOVA mixte, les conditions d'application de cette analyse ont été vérifiées après exclusion des valeurs extrêmes (outliers) pour chaque combinaison de bande EEG, de condition (réalité virtuelle ou vidéo) et de phase (pré ou post). La normalité des distributions a été évaluée visuellement à l'aide des histogrammes ainsi que par les tests de Kolmogorov-Smirnov. Les histogrammes des bandes EEG (Alpha, Beta basse, Beta haute, Theta, Gamma), séparées selon les deux conditions et les deux phases, révèlent des distributions asymétriques, parfois étalées ou présentant des effets plancher. Cette tendance est confirmée par les tests de Kolmogorov-Smirnov, qui s'avèrent significatifs pour l'ensemble des combinaisons de bande EEG \times condition \times phase ($p < .05$), ce qui montre une déviation de la normalité. Les boxplots montrent la présence de valeurs extrêmes dans certaines bandes, notamment Beta haute et Gamma. En supprimant ces outliers, les distributions sont devenues plus homogènes mais gardent une asymétrie. L'homogénéité des variances a été testée à l'aide du test de Levene, appliqué à chaque bande EEG en fonction de la condition et de la phase. Les résultats indiquent que pour toutes les bandes EEG, l'hypothèse d'homogénéité des variances est rejetée ($p < .001$), en particulier pour les bandes Alpha et Gamma. Cette violation de l'homoscédasticité nous indique d'interpréter les résultats avec prudence, même si l'ANOVA est réputée robuste à ce type de violation en présence d'échantillons de taille équilibrée (ici, 25 vs 23 participant-e-s). De plus, l'hypothèse d'homogénéité des matrices de covariance a été testée par le test de Box, qui s'est révélé très significatif ($p < .001$), confirmant une violation de cette condition. Enfin, l'indépendance des observations est garantie par le protocole expérimental : chaque participant-e appartient à un seul groupe et a été mesurée de manière répétée dans le temps (pré/post). Les deux groupes sont de tailles similaires, respectant ainsi le critère de $n_1 < 2n_2$. Ces vérifications permettent de conclure que, malgré plusieurs violations des conditions classiques d'application de l'ANOVA (normalité,

homogénéité des variances et des covariances), les données peuvent être considérées comme suffisamment robustes pour procéder à l'analyse principale, en intégrant les ajustements nécessaires.

Analyse statistique principale. Une ANOVA mixte 5 (bande EEG : alpha, betaL, betaH, theta, gamma ; facteur intra-sujet) \times 2 (condition : vidéo vs réalité virtuelle ; facteur inter-sujet) a été réalisée afin d'évaluer l'effet de la condition expérimentale et des bandes EEG sur l'activité cérébrale mesurée immédiatement après la séance de méditation. L'analyse révèle un effet principal significatif du facteur « bande EEG », $F(4, 188) = 11.41, p < .001, \eta^2 = .093$, suggérant que l'activité cérébrale varie selon les différentes bandes de fréquences. En revanche, aucun effet principal de la condition n'est observé, $F(1, 46) = 0.25, p = .617, \eta^2 \approx .0006$, indiquant que les participant-e-s exposé-e-s à la méditation immersive (réalité virtuelle) ne présentent pas une activité EEG globalement différente de ceux exposés à la version non immersive (vidéo). Par ailleurs, l'interaction bande \times condition n'est pas significative, $F(4, 188) = 0.64, p = .634, \eta^2 = .005$, ce qui implique que les différences entre les bandes EEG ne varient pas selon la condition expérimentale (Tableau 4). Le test de sphéricité de Mauchly est significatif pour l'effet principal de la bande ($p < .001$), ainsi que pour les interactions avec la condition ($p < .001$), violant ainsi l'hypothèse de sphéricité. En conséquence, les résultats sont interprétés avec la correction de Greenhouse-Geisser ($\epsilon = .26$ pour l'effet principal), ce qui confirme le caractère significatif de l'effet principal de la bande ($p < .001$ corrigé). L'interaction bande \times condition reste non significative même après correction ($p = .79$). Enfin, des tailles d'effet moyenne du facteur bande ($\eta^2 = .093$) ont été observées. En revanche, la condition et les interactions ont une taille d'effet très faible ($\eta^2 < .01$). Afin de mieux comprendre les différences entre les bandes EEG, des tests post-hoc de Tukey HSD ont été réalisés. Ces analyses ont mis en évidence des différences significatives entre la bande thêta et toutes les autres bandes ($p < .001$ dans chaque cas), avec une activité plus élevée pour la bande thêta. En revanche, aucune différence significative n'a été observée entre les bandes alpha, betaL et betaH, ni entre betaH et gamma. Ces résultats soutiennent l'idée que l'activité thêta est un marqueur plus spécifique de l'état de relaxation induit par la méditation. Des contrastes orthogonaux a priori ont ensuite été testés afin de cibler des comparaisons spécifiques d'intérêt, basées sur les hypothèses théoriques formulées dans le cadre de l'étude. Un contraste entre thêta et gamma a été fait et s'est révélé être significatif ($t = -7.04, p < .001$). Celui qui concerne la moyenne des ondes beta à la bande thêta ($t = -7.68, p < .001$) l'était également, ce qui souligne le rôle de la bande thêta dans la relaxation cognitive. En revanche, le contraste comparant la bande alpha à la moyenne des autres, ainsi que celui comparant betaH à betaL, ne s'est pas révélé significatif (tous $p > .05$), allant à l'encontre de notre hypothèse initiale selon laquelle la bande alpha serait un marqueur privilégié de la relaxation.

Ces résultats ne confirment donc pas l'hypothèse H4, selon laquelle la réalité virtuelle entraînerait une augmentation spécifique des ondes alpha et thêta. Bien qu'une variation EEG soit observée selon les bandes, celle-ci ne semble pas dépendre du type de support utilisé (Figures 9 et 10).

Tableau 4
Résultats de l'ANOVA mixte 5 (Bandes) x 2 (Condition)

Table with 4 columns: Effet, F (GG-corr.), p, and ηp². Rows include Bande, Condition, and Bande x Condition.

Note. ηp² = taille d'effet partielle. Les valeurs p < .05 sont considérées comme significatives.

Figure 9
Interaction entre la condition expérimentale et les bandes de fréquence EEG sur la puissance moyenne après la séance de méditation.

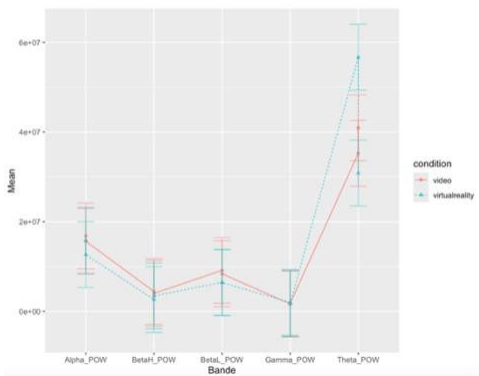
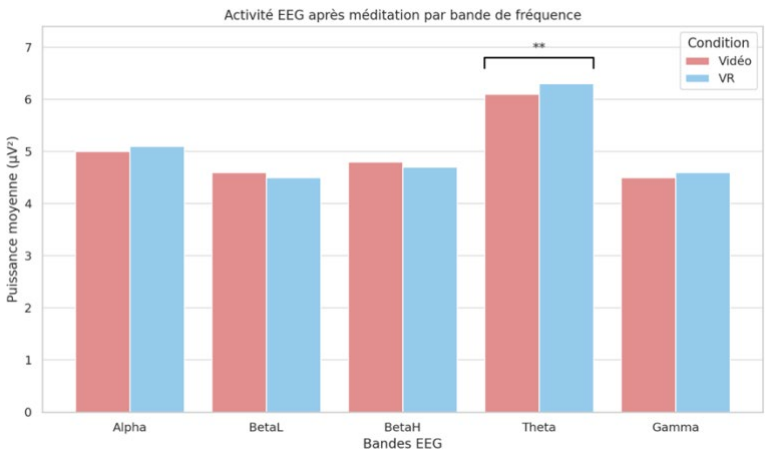


Figure 10
Activité cérébrale moyenne dans cinq bandes EEG après la séance de méditation, selon la condition (vidéo vs réalité virtuelle) (OpenAI, 2025)



Analyses complémentaires et exploratoires. Compte tenu des violations observées dans les conditions d'application de l'ANOVA (non-normalité des distributions, hétérogénéité des variances), des tests de Wilcoxon pour données appariées ont été réalisés en complément, afin de vérifier la robustesse des résultats. Ces tests ont été menés séparément pour chaque bande EEG, dans chaque condition (vidéo ou réalité virtuelle), en comparant les scores avant (FRTpre) et après (FRTpost) la séance. Les résultats des tests de Wilcoxon ne montrent aucune différence significative entre les phases dans aucune des bandes EEG, ni dans la condition « réalité virtuelle », ni dans la condition « vidéo » (toutes les valeurs de $p > .05$). Cela confirme les résultats de l'ANOVA mixte : la séance de méditation, qu'elle soit immersive ou non, n'a pas induit de variation significative de l'activité EEG dans les différentes bandes de fréquence, lorsque celles-ci sont analysées individuellement. Une analyse des composantes principales (ACP) avec rotation oblique a été faite afin de mieux comprendre la structure de l'activité des bandes EEG et voir s'il existe des regroupements entre elles. L'ACP permet de réduire les données en un nombre limité de composantes, tout en conservant les informations utiles. Avant de procéder à l'ACP, nous avons vérifié la validité des données avec deux tests : le test de Bartlett pour la sphéricité ($p < .001$), qui confirme que les données sont adaptées à l'ACP, et la mesure de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO = .74 en pré et .78 en post), qui montre que les variables sont suffisamment corrélées pour réaliser cette analyse de manière fiable. L'ACP avant l'intervention a montré que deux composantes principales expliquaient 86,5 % de la variance totale. La première composante est fortement liée aux bandes alpha, betaL, betaH et gamma, ce qui suggère que ces bandes capturent une dimension commune de l'activité EEG. La seconde composante est principalement associée à la bande thêta, ce qui signifie que l'activité thêta représente une dimension distincte de l'activité EEG par rapport aux autres bandes. Après la séance de méditation, l'ACP a révélé une structure différente : une seule composante expliquait plus de 98% de la variance. Cela suggère qu'après la méditation moins de différences entre les bandes de fréquences ont été relevées. L'activité EEG est devenue plus homogène. Toutefois, il est difficile d'interpréter cette homogénéisation sans un changement significatif des moyennes car ça pourrait simplement être une réduction de la variabilité individuelle après la séance. En conclusion, bien que l'analyse montre une homogénéisation de l'activité EEG après la méditation, aucun changement significatif n'a été observé dans les différentes bandes de fréquence. Ces résultats suggèrent que la méditation, qu'elle soit en réalité virtuelle ou vidéo, n'a pas induit de variation marquée de l'activité EEG.

Tableau 5

Synthèse des hypothèses

Hypothèse	Résultat	Commentaire synthétique
H1 – Bien-être émotionnel (PANAS)	Partiellement confirmée	Les affects négatifs diminuent significativement <u>après</u> la séance dans la condition réalité virtuelle, tandis que les affects positifs restent stables.
H2 – Anxiété (STAI-Y)	Non confirmée	Une légère diminution de l'anxiété est observée <u>dans</u> l'ensemble des conditions, sans différence <u>significative</u> entre la réalité virtuelle et le support vidéo.
H3 – Pleine conscience (SMS)	Non confirmée	La pleine conscience augmente significativement <u>après</u> la séance, de manière similaire dans les deux conditions expérimentales.
H4 – Activité cérébrale (EEG)	Non confirmée	Des variations significatives sont observées entre les bandes de fréquence EEG, mais aucun effet d'interaction avec la condition expérimentale n'est relevé.

Discussion

Cette étude avait pour but d'analyser les impacts d'une méditation guidée immersive en réalité virtuelle (RV) comparée à une méditation guidée traditionnelle (vidéo/audio) sur quatre dimensions : le bien-être émotionnel, l'anxiété ressentie, la pleine conscience et l'activité cérébrale mesurée par EEG. Elle cherchait à comprendre les liens entre les mesures psychologiques et physiologiques pour mieux comprendre le fonctionnement de la relaxation en lien avec la méditation.

La première hypothèse proposait que la réalité virtuelle favoriserait une amélioration du bien-être émotionnel, avec une hausse des émotions positives et une stabilité voire une baisse, des émotions négatives. Cette hypothèse a été partiellement confirmée : les résultats montrent une diminution significative des affects négatifs après la séance, particulièrement dans le groupe RV, alors que les affects positifs restent globalement inchangés. Ces résultats valident les travaux de Seabrook et al. (2020) et Failla et al. (2022), qui suggèrent que la RV pourrait faciliter une meilleure gestion des émotions désagréables grâce à l'immersion sensorielle, sans pour autant amplifier les émotions positives. Il est également intéressant de constater que les participant-e-s qui ont l'habitude de méditer rapportent une diminution plus forte des affects négatifs, ce qui souligne l'importance d'une pratique régulière.

Concernant l'anxiété, la deuxième hypothèse était que la méditation guidée en RV réduirait significativement l'anxiété état par rapport à la condition vidéo. Cette hypothèse n'a pas été

confirmée: bien qu'une diminution de l'anxiété après la séance puisse être observée, cette réduction n'est pas significativement différente entre les deux groupes. Ce résultat est à nuancer car des études comme celles de Navarro-Haro et al. (2017) ont pourtant montré une réduction marquée de l'anxiété avec des interventions immersives. Cependant, une observation intéressante a été faite grâce aux analyses exploratoires : l'âge prédit de manière significative la diminution de l'anxiété. Les participant-e-s plus âgé-e-s semblent bénéficier davantage de la méditation, peut-être en raison d'une meilleure régulation émotionnelle acquise avec le temps (Charles & Carstensen, 2010).

La troisième hypothèse stipulait que la méditation immersive favoriserait une augmentation significative de la pleine conscience (mesurée via la SMS) par rapport à la méditation vidéo/audio. Une augmentation significative à l'intérieur des deux groupes a été observée, mais ce n'est pas le cas entre les conditions. La méditation, peu importe le support, améliorerait donc la pleine conscience à court terme. Cependant, des analyses complémentaires montrent que la familiarité avec la réalité virtuelle peut prédire cette augmentation. De ce fait, un certain niveau de confort ou d'habitude avec la technologie immersive pourrait influencer son efficacité. Ces résultats concordent avec les observations de Liu et Riecke (2022), qui soulignent que la RV est particulièrement bénéfique chez les personnes à l'aise avec les environnements virtuels.

Enfin, la quatrième hypothèse portait sur l'activité cérébrale : une augmentation des ondes alpha et thêta, associées à la relaxation, ainsi qu'une diminution des bandes bêta et gamma, liées à l'activation cognitive était attendue. Cette hypothèse n'a pas été confirmée. Bien que des différences importantes entre les bandes EEG ont été observées, celles-ci ne varient pas selon la condition expérimentale. Cependant, l'analyse factorielle a révélé que la bande thêta constitue une composante distincte des autres, confirmant son rôle possible comme indicateur de relaxation, ce qui a été suggéré par Banquet (1973) et Riva et al. (2021). L'absence de différence entre les groupes pourrait s'expliquer par des limites méthodologiques (cf. section 6.2), comme les contraintes techniques liées au casque EEG, la durée limitée de la séance, ou encore le niveau de familiarité avec la méditation.

Bilan

Les résultats de la présente étude mettent en évidence les atouts potentiels d'une méditation guidée immersive en réalité virtuelle (RV), notamment sa capacité à atténuer les affects négatifs et à améliorer l'expérience subjective des utilisateurs. Ces observations corroborent partiellement les travaux antérieurs de Seabrook et al. (2020) et de Navarro-Haro et al. (2017), qui montrent que la RV réduit les émotions négatives en renforçant l'attention focalisée et le sentiment de présence dans l'instant. D'autres recherches vont dans le même sens. Par exemple, Smith et al. (2024) ont

démonstré que la méditation en RV permettait une réduction significative de l'anxiété et une amélioration du bien-être émotionnel chez des étudiant-e-s universitaires présentant des symptômes d'anxiété légère à modérée. De même, la méta-analyse de Zhang et al. (2023) a révélé que les interventions de pleine conscience faite avec la technologie, y compris la RV, avaient des effets significatifs sur la réduction de l'anxiété, du stress et des émotions négatives, bien que l'impact soit modéré. Ces résultats soulignent la complexité d'évaluer les effets d'une intervention méditative dans un cadre expérimental non clinique, en particulier chez de jeunes adultes généralement en bonne santé psychologique et disposant donc d'une marge d'amélioration limitée (Zhang et al., 2023). Il est plausible que les bénéfices se manifestent plus nettement dans des contextes cliniques ou auprès de populations à risque. En outre, des variables telles que la familiarité préalable avec la réalité virtuelle, le confort perçu pendant la séance ou encore l'adéquation entre le style de méditation proposé et les attentes des participant-e-s peuvent moduler les effets observés (Seabrook et al., 2020).

Limitations

Plusieurs limites doivent être prises en compte dans l'interprétation des résultats de cette étude. Tout d'abord, la langue de l'enregistrement de la méditation (anglais) pourrait avoir diminué l'impact de l'expérience pour les participant-e-s moins à l'aise avec cette langue, en limitant leur compréhension ou leur implication émotionnelle. Ensuite, un biais méthodologique important réside dans la différence visuelle entre les deux conditions : le groupe RV a été exposé à un environnement naturel et animé en 360°, tandis que le groupe contrôle voyait une image fixe. Cette différence de stimulation sensorielle rend difficile l'attribution des effets observés à l'immersion seule. Une autre limite pourrait être due à la consigne donnée pendant l'expérience en réalité virtuelle ou en vidéo/audio. En effet, les participant-e-s devaient garder les yeux ouverts car la fermeture des yeux provoquait généralement une augmentation de l'activité des ondes alpha, ce qui indiquerait un état de relaxation (Wallace, 2022). Le but était donc de minimiser cette augmentation pour se concentrer sur l'effet de la stimulation visuelle immersive sur l'activité du cerveau. Cependant, dans la condition vidéo, les participant-e-s n'avaient rien à voir, ils avaient donc tendance à tout de même fermer les yeux. Cette divergence entre les deux conditions pourrait avoir influencé la relaxation et les effets physiologiques observés. La durée relativement longue de la passation (environ 90 minutes), qui comprenait plusieurs phases expérimentales, a pu induire de la fatigue, voire un effet d'anticipation ou un ennui, qui a potentiellement impacter la concentration des participant-e-s au moment des mesures après la session. En outre, une autre limite pourrait concerner le cybersickness (mal des simulateurs), un inconfort ressenti par certains participant-e-s après l'utilisation du casque RV. Bien que le contenu ait été statique (absence de mouvements brusques ou de navigation), certains

participant-e-s ont rapporté des sensations de gêne visuelle ou au niveau de la posture, possiblement due à leur manque d'habitude avec la technologie immersive. Ces effets peuvent compliquer la concentration et l'engagement émotionnel pendant la méditation (Rebenitsch & Owen, 2016). De plus, plusieurs éléments contextuels ont pu impacter la rigueur méthodologique. La passation de l'étude a eu lieu dans un environnement parfois bruyant, à cause de travaux à proximité, ce qui a pu perturber l'immersion et l'expérience de pleine conscience, surtout dans la condition vidéo. En outre, la courte durée de la séance (environ 10 minutes) pourrait ne pas avoir été suffisante pour engendrer des effets significatifs, comme observé dans d'autres études utilisant des interventions plus longues (Zhang et al., 2023). L'échantillon présente un déséquilibre au niveau du genre important (environ 80 % de femmes), ce qui limite la représentativité des résultats et empêche de voir s'il y a des différences liées au genre. De même, bien que la tranche d'âge visée allait de 18 à 65 ans, la majorité des participant-e-s étaient des jeunes adultes, limitant ainsi l'analyse des effets liés à l'âge. D'autres facteurs individuels n'ont pas pu être contrôlés de manière rigoureuse, comme la familiarité avec les pratiques de méditation ou avec la technologie immersive. Bien que des données démographiques aient été recueillies, ces variables peuvent influencer les effets observés. Enfin, certaines échelles utilisées (notamment l'USEQ) ont été adaptées ou traduites sans validation officielle préalable, ce qui pourrait impacter la fidélité ou la validité des mesures subjectives. Ces limites s'ajoutent aux contraintes spécifiques de la technologie immersive. Comme le rappelle Roy (2001), même si la RV offre des opportunités uniques en psychothérapie, son efficacité dépend de l'acceptabilité par les utilisateurs, de son accessibilité technique et de la standardisation des protocoles cliniques. Ces éléments restent importants pour une application large et fiable de la RV en santé mentale.

Conclusion

En conclusion, cette étude met en évidence la pertinence d'intégrer la réalité virtuelle aux protocoles de relaxation et de méditation, principalement en raison de son aptitude à atténuer les affects négatifs et à renforcer la présence subjective. Toutefois, les effets plus nuancés observés sur d'autres dimensions, conjugués aux limites méthodologiques relevées, indiquent que l'efficacité de la RV ne peut être généralisée sans tenir compte des variables individuelles, contextuelles et technologiques. Dans les recherches futures, il serait pertinent d'évaluer l'apport des rétroactions haptiques — vibrations, stimulations tactiles, thermiques ou auditives dynamiques — pour approfondir l'immersion et maximiser les effets physiologiques de la relaxation (Faridan et al., 2022, Malladi et al., 2023). Il serait également intéressant d'adapter les spécificités de l'expérience en RV

en fonction du profil de l'utilisateur-trice (âge, traits de personnalité, familiarité technologique) pour maximiser les bénéfices de l'expérience. De plus, inclure de populations plus cliniques, qui présentent des niveaux d'anxiété ou de stress plus élevés, pourrait mieux révéler les effets thérapeutiques de la méditation immersive, en lien avec les résultats obtenus dans des contextes de phobie ou de stress post-traumatique (Fairburn & Patel, 2017). Enfin, le fait d'intégrer des mesures neurophysiologiques en complément (HRV, EDA, cohérence EEG, etc.) pourrait permettre d'approfondir la compréhension des mécanismes cognitifs et émotionnels activés par la RV. En somme, l'association de la méditation guidée à la réalité virtuelle constitue un dispositif novateur et prometteur pour renforcer la pleine conscience, la relaxation mentale et le bien-être émotionnel. Cette synergie ouvre des perspectives d'application étendues, tant en psychologie et en santé publique que dans le développement de thérapies numériques personnalisées et accessibles au plus grand nombre.

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

Références

1. André, C. (2018). Méditation, médecine et neurosciences. *Études, Décembre*(12), 49–60. <https://doi.org/10.3917/etu.4255.0049>
2. Baer, R. A., Smith, G. T., Hopkins, J., Krietemeyer, J., & Toney, L. (2006). Using self-report assessment methods to explore facets of mindfulness. *Assessment, 13*(1), 27–45. <https://doi.org/10.1177/1073191105283504>
3. Benedek, M., & Kaernbach, C. (2010). A continuous measure of phasic electrodermal activity. *Journal of Neuroscience Methods, 190*(1), 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2010.04.014>
4. Boucsein, W. (2012). *Electrodermal activity* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1126-0>
5. 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>
6. Carl, E., Stein, A. T., Levihn-Coon, A., Pogue, J. R., Rothbaum, B., Emmelkamp, P., & Powers, M. B. (2019). Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Anxiety Disorders, 61*, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2018.08.003>
7. Chiesa, A., Calati, R., & Serretti, A. (2011). Does mindfulness training improve cognitive abilities? A systematic review of neuropsychological findings. *Clinical Psychology Review, 31*(3), 449–464. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2010.11.003>
8. Creswell, J. D. (2017). Mindfulness interventions. *Annual Review of Psychology, 68*, 491–
9. 516. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-042716-051139>
10. Cubicle Ninjas. (n.d.). *Guided Meditation VR* [Application mobile]. <https://guidedmeditationvr.com/>
11. Datta, A., et al. (2024). User experience in virtual reality environments: Validation of the USEQ scale. *International Journal of Human-Computer Interaction, 40*(5), 439–450. <https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2046709>
12. Davidson, R. J., & Kaszniak, A. W. (2015). Conceptual and methodological issues in research on mindfulness and meditation. *The American Psychologist, 70*(7), 581–592. <https://doi.org/10.1037/a0039512>
13. 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.

14. Döllinger, N., Wessels, C., & Latoschik, M. E. (2021). Challenges and opportunities of immersive technologies for mindfulness meditation: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 12, 647647. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.644683>
15. Doron, C. (2015). L'émergence du concept de « santé mentale » dans les années 1940–1960 : genèse d'une psycho- politique. *Pratiques en santé mentale*, 61e année(1), 3–16. <https://doi.org/10.3917/psm.151.0003>
16. Emotiv. (2019). *EPOC+ Technical Specifications*. <https://www.emotiv.com/epoc/>
17. Fairburn, C. G., & Patel, V. (2017). The impact of digital technology on psychological treatments. *Behaviour Research and Therapy*, 92, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2016.11.008>
18. Fox, K. C. R., Nijeboer, S., Dixon, M. L., Floman, J. L., Ellamil, M., Rumak, S. P., & Christoff, K. (2014). Is meditation associated with altered brain structure? A systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 43, 48–73. Fredrickson, B. L., & Joiner, T. (2002). Positive emotions trigger upward spirals toward emotional well-being. *Psychological Science*, 13(2), 172–175. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00431>
19. Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine*, 47(14), 2393–2400. <https://doi.org/10.1017/S003329171700040X>
20. Garland, E. L., Geschwind, N., Peeters, F., & Wichers, M. (2015). Mindfulness training promotes upward spirals of positive affect and cognition: Multilevel and autoregressive latent trajectory modeling analyses. *Frontiers in Psychology*, 6, 15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00015>
21. Goldberg, S. B., Tucker, R. P., Greene, P. A., Davidson, R. J., Wampold, B. E., Kearney, D. J., & Simpson, T. L. (2018). Mindfulness-based interventions for psychiatric disorders: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, 59, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2017.10.011>
22. Gorini, A., Pallavicini, F., Algeri, D., Repetto, C., Gaggioli, A., & Riva, G. (2011). Virtual reality in the treatment of generalized anxiety disorders. *Journal of CyberTherapy and Rehabilitation*, 4(3), 349–357.
23. Goyal, M., et al. (2014). Meditation programs for psychological stress and well-being: A systematic review and meta- analysis. *JAMA Internal Medicine*, 174(3), 357–368. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.13018>
24. Guided Meditation VR. (2023). *Guided Meditation VR* [Mobile application

- hr/>
- software]. Cubicle Ninjas. <https://www.guidedmeditationvr.com/>
25. Hofmann, S. G., Sawyer, A. T., Witt, A. A., & Oh, D. (2010). The effect of mindfulness-based therapy on anxiety and depression: A meta-analytic review. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 78(2), 169–183. <https://doi.org/10.1037/a0018555>
26. Jasper, H. H. (1958). The ten–twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10(2), 371–375.
27. Kazzi, C., et al. (2018). Effects of instructed meditation augmented by virtual environments. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 15, 3244–3247. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8513219>
28. Lachowicz, M., Mateus, C., & Riecke, B. E. (2024). Feel the Breeze: Promoting relaxation in virtual reality using mid-air haptics. *arXiv preprint arXiv:2308.09424*.
29. Lachowicz, M., Żurek, A., Jamro, D., et al. (2024). Changes in concentration performance and alternating attention after short-term virtual reality training in E-athletes: A pilot study. *Scientific Reports*, 14, 8904. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59539-w>
30. Liu, S., & Riecke, B. E. (2022). Reducing stress and anxiety in the metaverse: A systematic review of meditation, mindfulness and virtual reality. *arXiv preprint arXiv:2209.14645*.
31. Lomas, T., Ivtzan, I., & Fu, C. H. (2015). A systematic review of the neurophysiology of mindfulness on EEG oscillations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 57, 401–410.
32. Lomas, T., Medina, J. C., Ivtzan, I., Rupprecht, S., & Eiroa-Orosa, F. J. (2018). A systematic review of the impact of mindfulness on the well-being of healthcare professionals. *Journal of Clinical Psychology*, 74(3), 319–355. <https://doi.org/10.1002/jclp.22515>
33. Ma, J., et al. (2023). The effectiveness of immersive virtual reality mindfulness training. *Explore: The Journal of Science and Healing*, 19(5), 334–341. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2023.04.007>
34. Maples-Keller, J. L., Bunnell, B. E., Kim, S. J., & Rothbaum, B. O. (2017). The use of virtual reality technology in the treatment of anxiety and other psychiatric disorders. *Harvard Review of Psychiatry*, 25(3), 103–113. <https://doi.org/10.1097/HRP.000000000000138>
35. Morais, T., et al. (2021). The relationship between alpha brain waves and relaxation states during virtual reality meditation. *Journal of Neuroscience Methods*, 358, 108239. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2021.108239>
36. Movisens GmbH. (2020). *ECGmove* 3: User manual. <https://www.movisens.com/en/products/ecgmove-3/>
37. Movisens GmbH. (2020). *EDAmove* 4: User manual. <https://www.movisens.com/en/products/edamove-4/>
- hr/>

38. Navarro-Haro, M. V., et al. (2017). Meditation experts try virtual reality mindfulness. *PLOS ONE*, 12(9), e0185649. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185649>
39. Ngô, T.-L. (2013). Revue des effets de la méditation de pleine conscience sur la santé mentale et physique et sur ses mécanismes d'action. *Santé mentale au Québec*, 38(2), 19–34. <https://doi.org/10.7202/1023988ar>
40. Oculus. (2021). *Oculus Quest 2: Product specifications*. Meta Platforms Inc. <https://www.meta.com/quest/>
41. OECD. (2023). *Measuring population mental health*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5171eef8-en>
42. Olk, B., Dinu, A., Zielinski, D. J., & Kopper, R. (2018). Measuring visual search and distraction in immersive virtual reality. *Royal Society Open Science*, 5(5), 172331. <https://doi.org/10.1098/rsos.172331>
43. OpenAI. (2025). *ChatGPT (version GPT-4.5)* [Grand modèle de langage IA]. <https://chat.openai.com/chat>
44. Organisation mondiale de la Santé. (2022, 17 juin). *Santé mentale : renforcer notre action*. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-strengthening-our-response>
45. Panchal, V. R., Parikh, N. R., & Panchal, V. R. (2023). Electrocardiogram. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549803/>
46. Pham, T., Lau, Z. J., Chen, S. H. A., & Makowski, D. (2021). Heart rate variability in psychology: A review of HRV indices and an analysis tutorial. *Sensors*, 21(12), 3998. <https://doi.org/10.3390/s21123998>
47. Rebenitsch, R., & Owen, C. (2016). Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*, 20(2), 101–125. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0285-9>
48. Riches, S., Azevedo, L., Bird, L., Pisani, S., & Valmaggia, L. (2021). Virtual reality relaxation for the general population: A systematic review. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 56(10), 1707–1727.
49. Riches, S., et al. (2023). Virtual reality relaxation for people with mental health conditions: A systematic review. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 58(5), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00127-022-02417-5>
50. Riva, G., et al. (2021). Virtual reality in mental health: A critical review. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine*, 19, 27–36.
51. Rizzo, A. S., & Koenig, S. T. (2017). Is clinical virtual reality ready for primetime? *Neuropsychology*, 31(8), 877–899. <https://doi.org/10.1037/neu0000405>

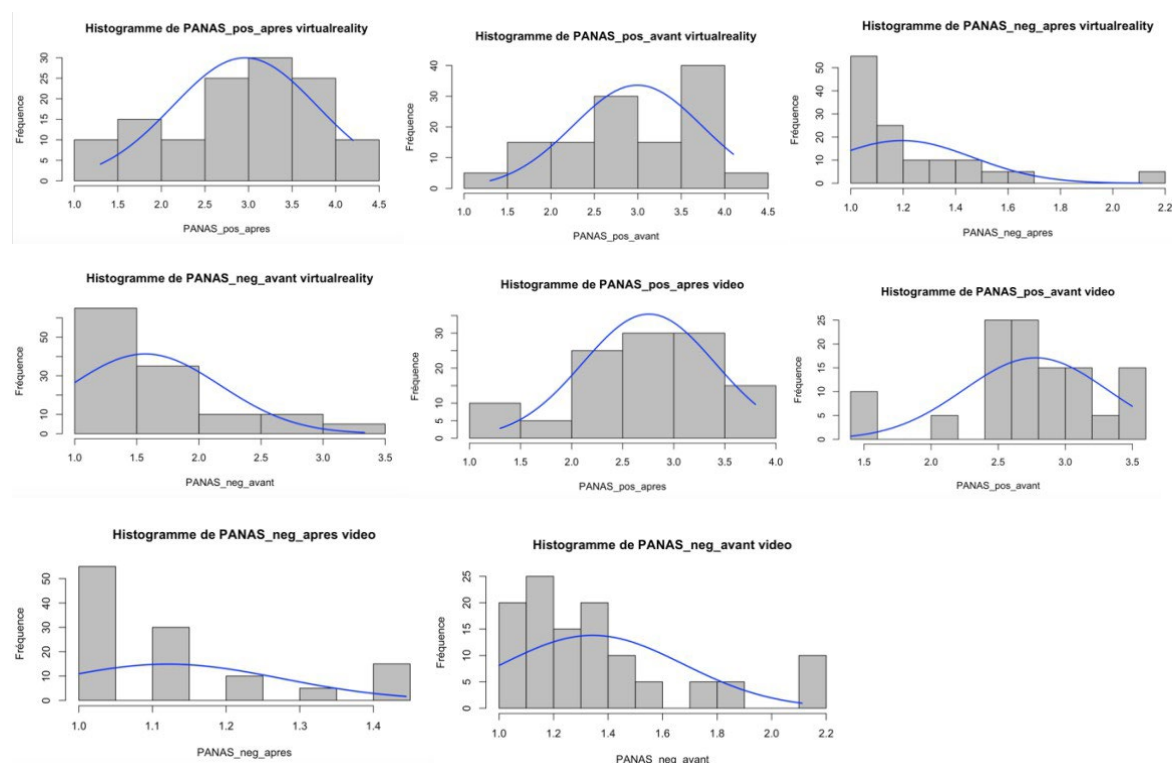
-
52. Roy, S. (2001). L'utilisation de la réalité virtuelle en psychothérapie. *Champ psychosomatique*, 22(2), 39–49. <https://doi.org/10.3917/cpsy.022.0039>
53. Sagnier, C., Loup-Escande, É., & Valléry, G. (2019). Acceptabilité de la réalité virtuelle : une revue de la littérature. *Le Travail Humain*, 82(3), 183–212. <https://doi.org/10.3917/th.823.0183>
54. Seabrook, E., Kelly, R., Foley, F., Theiler, S., Thomas, N., & Wadley, G. (2020). Understanding how virtual reality can support mindfulness practice: Mixed methods study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(3), <https://doi.org/10.2196/16106>
55. 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>
56. Sharma, M., & Rush, S. E. (2014). Mindfulness-based stress reduction as a stress management intervention for healthy individuals: A systematic review. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 19(4), 271–286. <https://doi.org/10.1177/2156587214543143>
57. Smith, R. L., Chan, M., & White, H. (2024). Exploring the impact of immersive virtual reality mindfulness on emotional well-being in college students: A randomized controlled trial. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 45. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04584-7>
58. Spielberger, C. D. (2015). State-Trait Anxiety Inventory (STAI). In *Measures of Personality and Social Psychological Attitudes* (pp. 229–234). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386915-9.00018-9>
59. Srivastava, S., et al. (2020). Immersive virtual reality for mental health and well-being: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 11, 560264. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.560264>
60. Tanay, G., & Bernstein, A. (2013). The State Mindfulness Scale (SMS): Development and initial validation. *Psychological Assessment*, 25(4), 1286–1299. <https://doi.org/10.1037/a0034404>
61. 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>
62. Van Dam, N. T., van Vugt, M. K., Vago, D. R., Schmalzl, L., Saron, C. D., Olendzki, A., ... & Meyer, D. E. (2018). Mind the hype: A critical evaluation and prescriptive agenda for research on mindfulness and meditation. *Perspectives on Psychological Science*, 13(1), 36–61. <https://doi.org/10.1177/1745691617709589>
63. Vigo, D., Patten, S., Pajer, K., Krausz, M., Taylor, S., Rush, B., ... & Yatham, L. N. (2020).
-

-
- Mental health of communities during the COVID-19 pandemic. *Canadian Journal of Psychiatry*, 65(10), 681–687. <https://doi.org/10.1177/0706743720926676>
64. Wallace, J. (2022). Effets des champs de radiofréquences sur l'activité électrique cérébrale d'éveil chez des volontaires sains. *ResearchGate*.
<https://www.researchgate.net/publication/359816737>
65. 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>
66. WHO. (2022). *World mental health report: Transforming mental health for all*.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240064810>
67. World Health Organization. (2022). *World mental health report: Transforming mental health for all*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240049338>
68. Xu, J., Khanotia, A., Juni, S., Ku, J., Sami, H., Lin, V., ... & Rahimpoor-Marnani, P. (2024). Effectiveness of virtual reality- based well-being interventions for stress reduction in young adults: Systematic review. *JMIR Mental Health*, 11, e52186.
<https://doi.org/10.2196/52186>

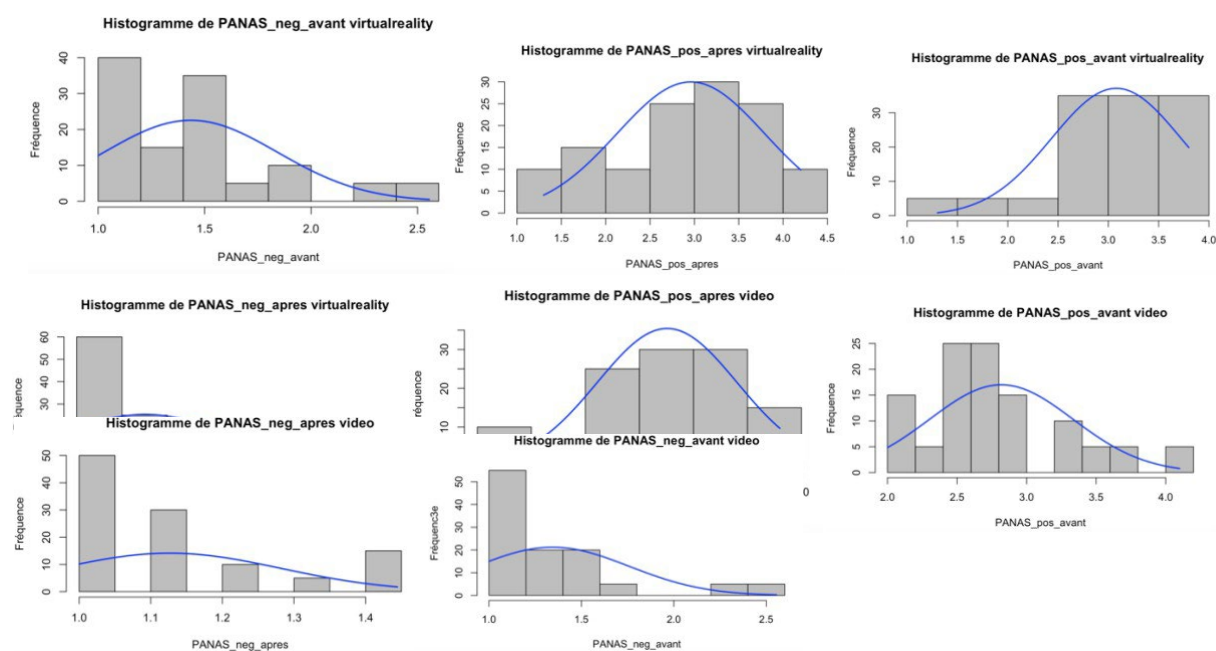
Annexe A : Analyses statistiques

PANAS

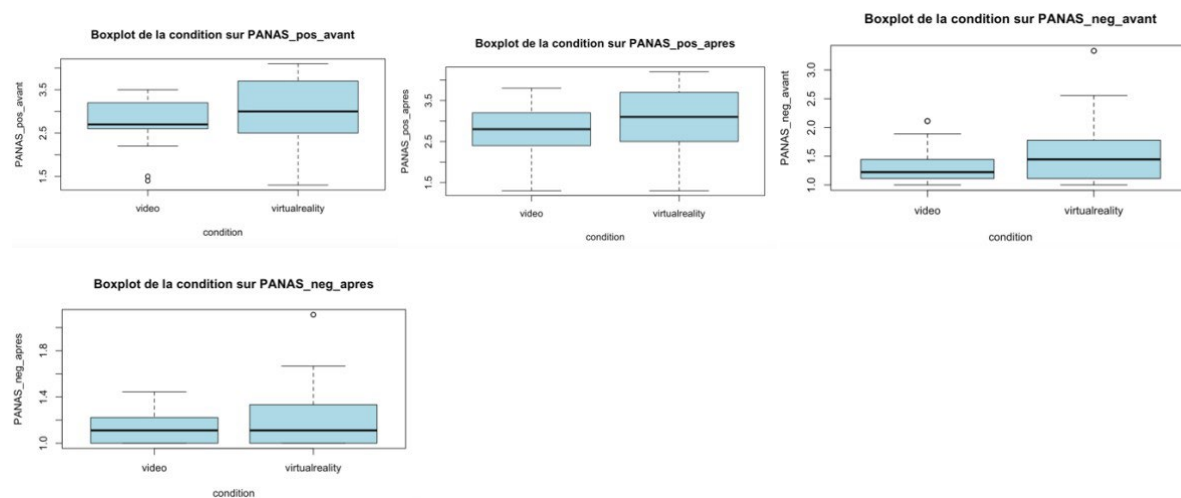
Histogrammes PANAS



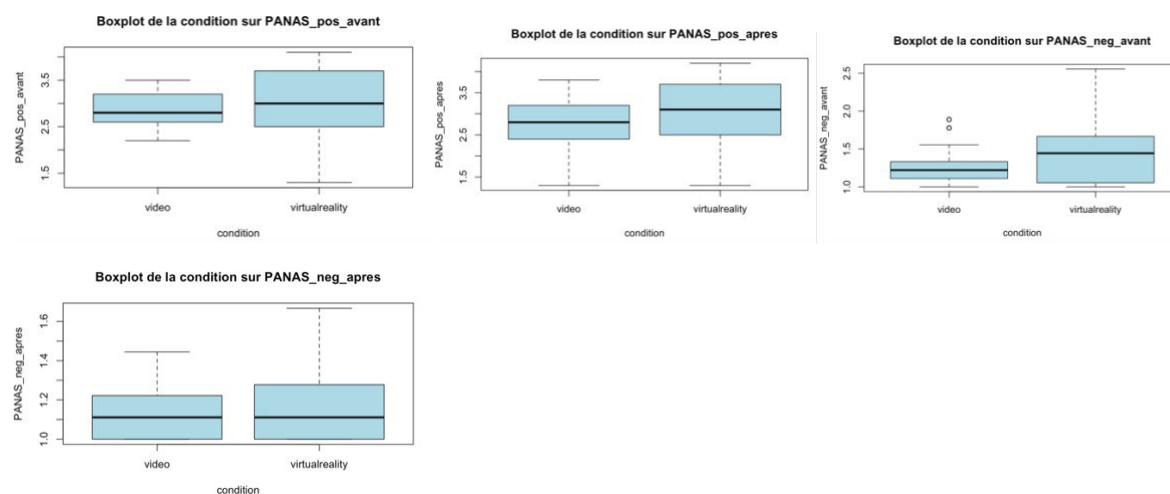
Histogrammes sans outliers – PANAS



Boxplots – PANAS

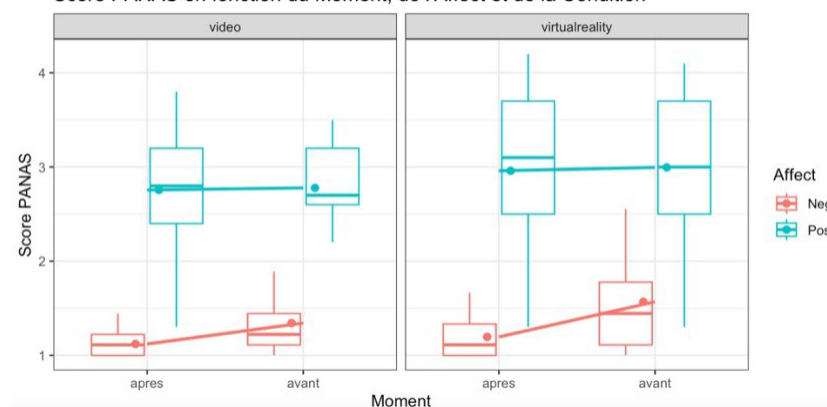


Boxplots sans outliers – PANAS



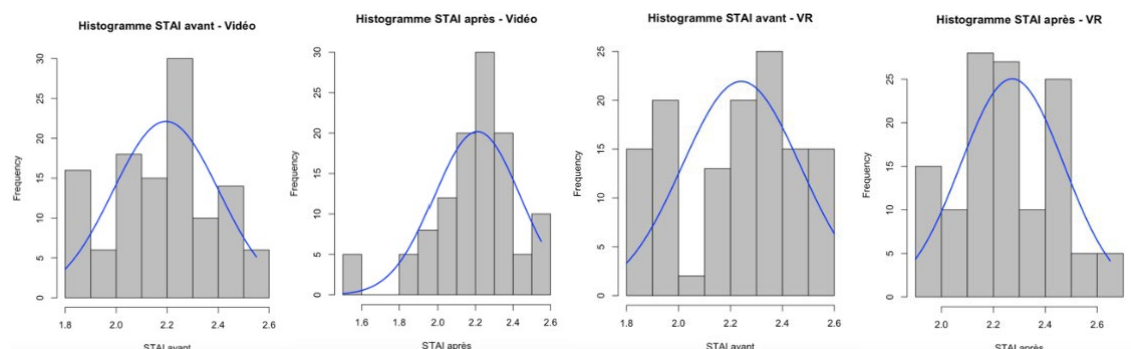
Graphiques d'interaction – PANAS

Score PANAS en fonction du Moment, de l'Affect et de la Condition

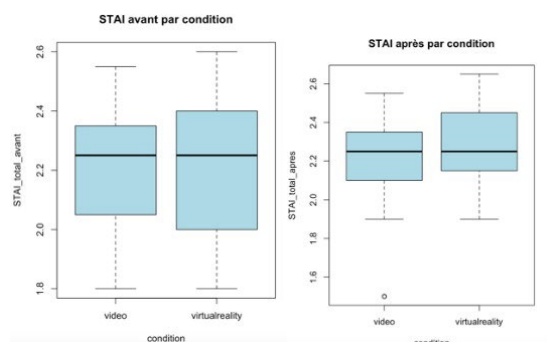


STAI-Y

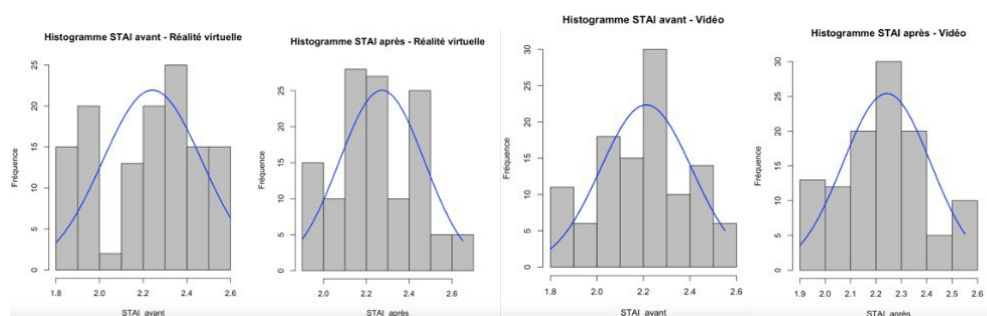
Histogrammes – STAI-Y



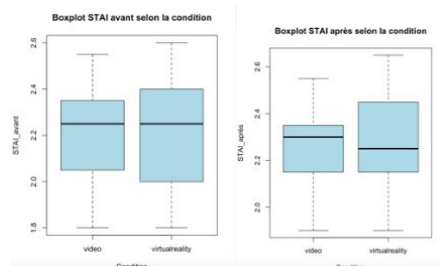
Boxplots – STAI-Y



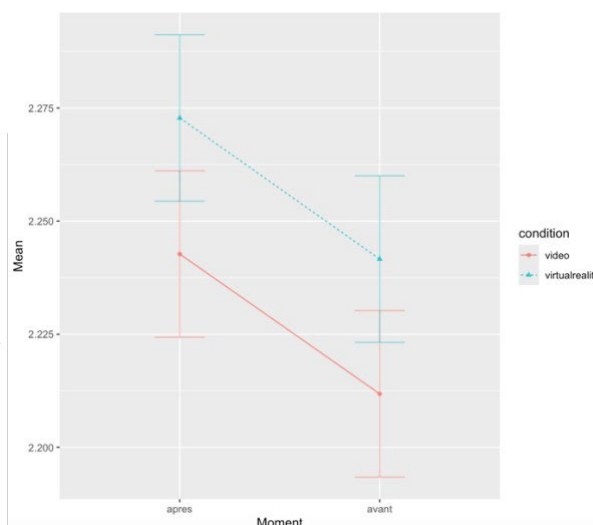
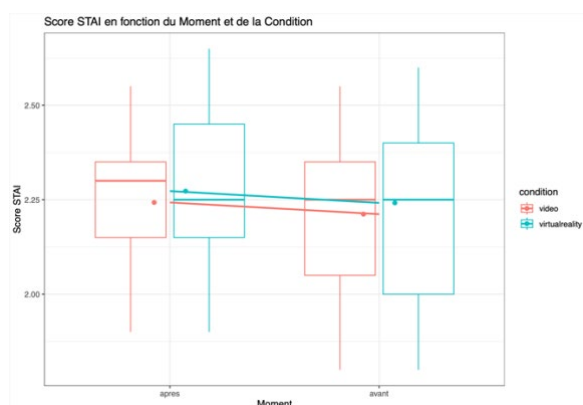
Histogrammes sans les outliers – STAI-Y



Boxplots sans les outliers – STAI-Y

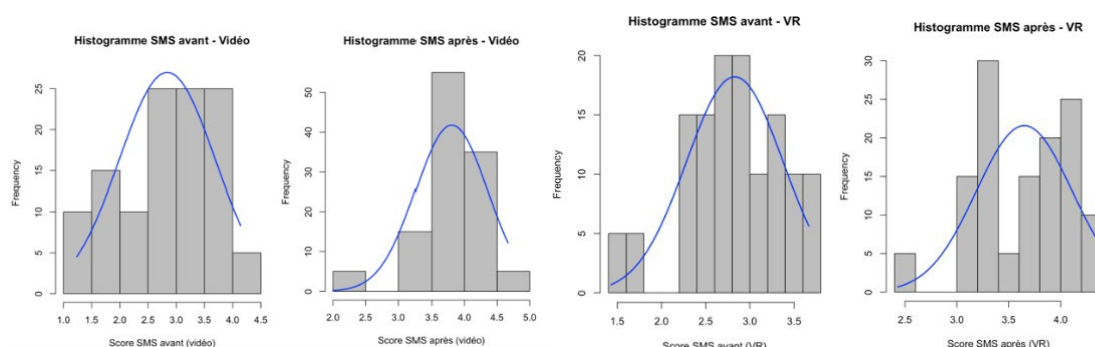


Graphique d'interaction – STAI-Y

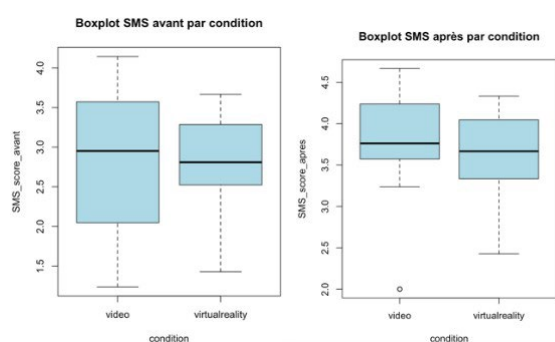


SMS

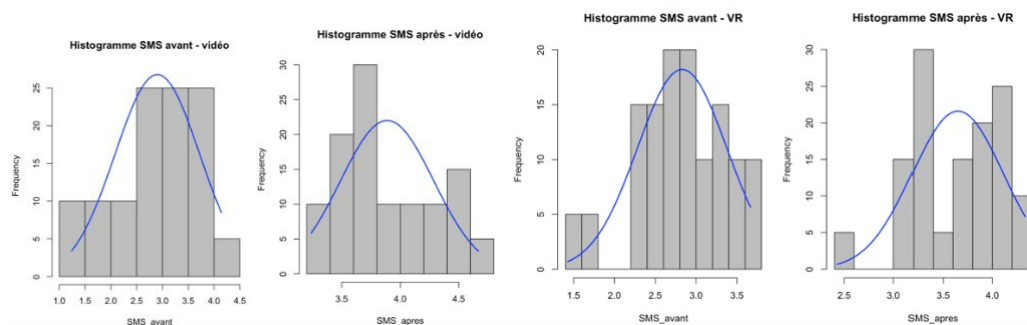
Histogrammes – SMS



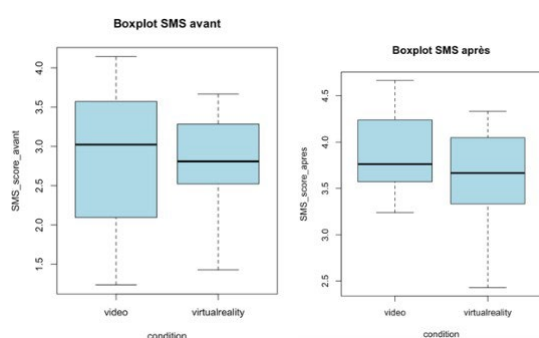
Boxplots – SMS



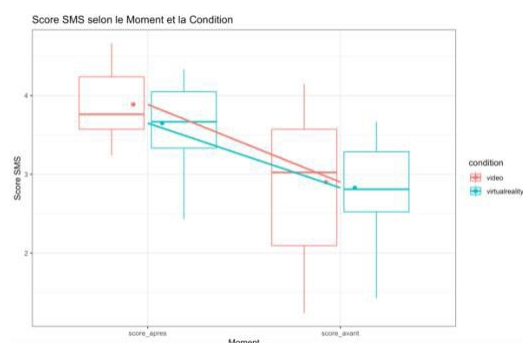
Histogrammes sans les outliers – SMS



Boxplots sans les outliers – SMS

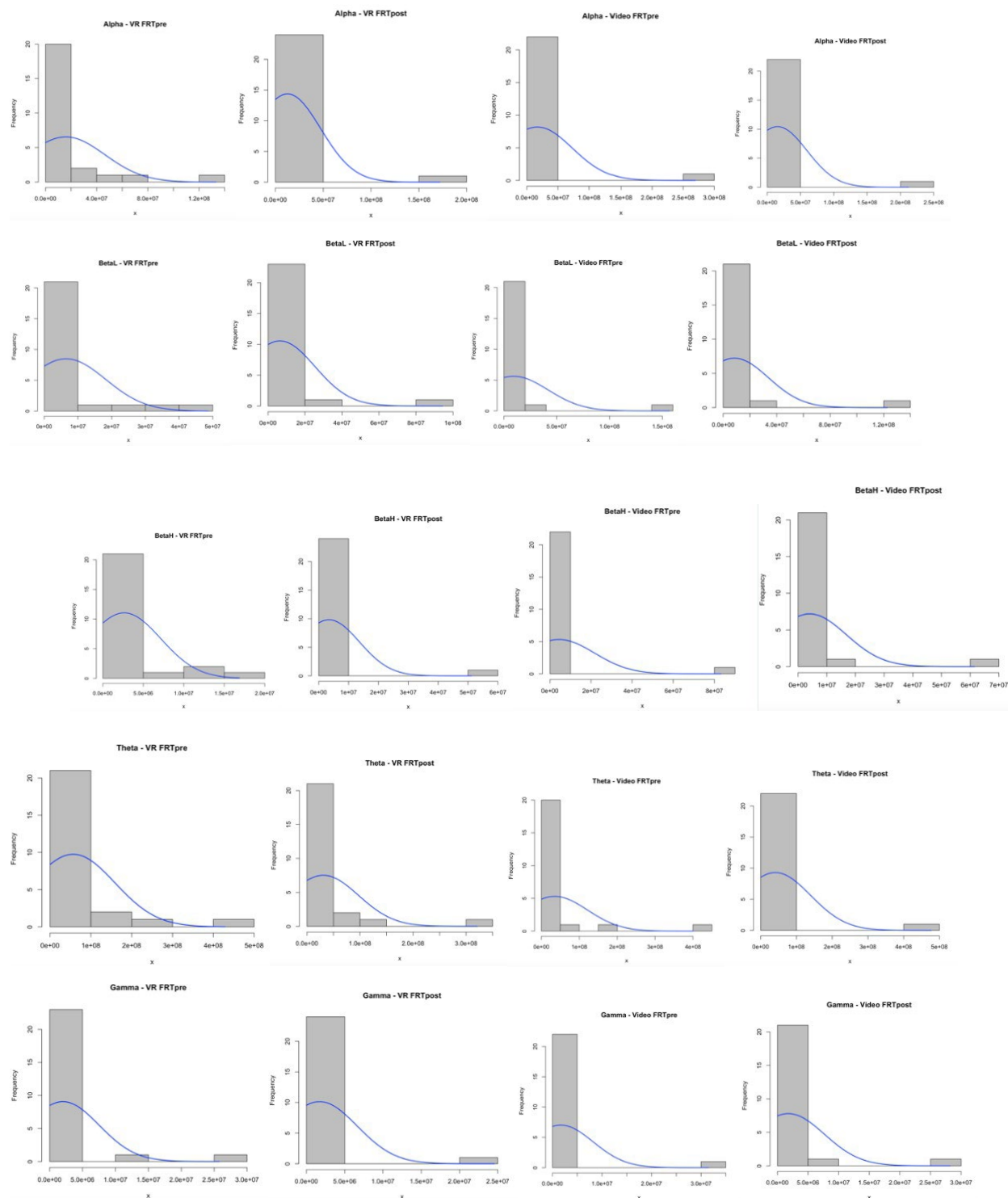


Graphique d'interaction – SMS

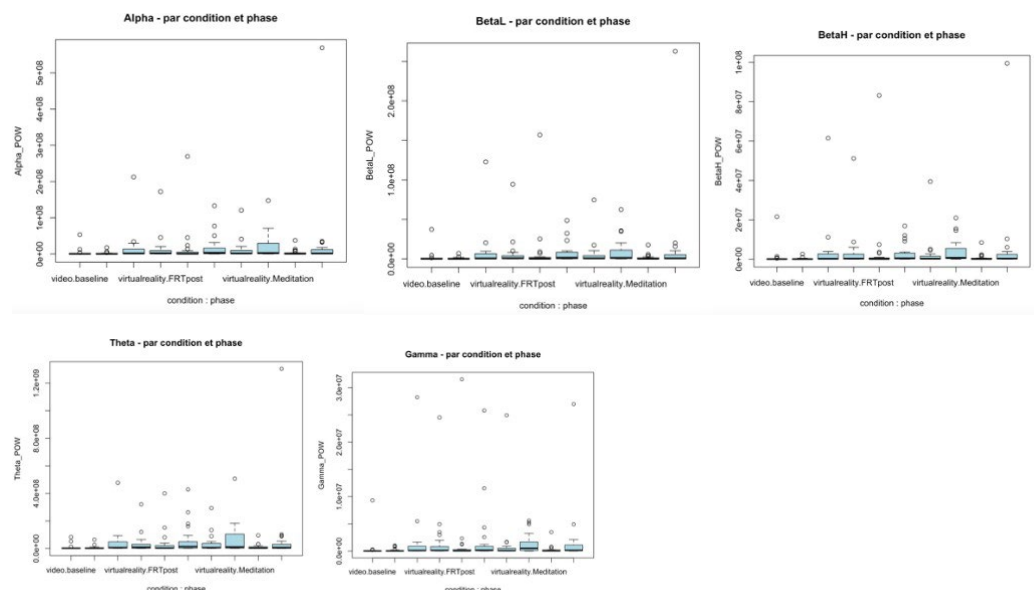


EEG

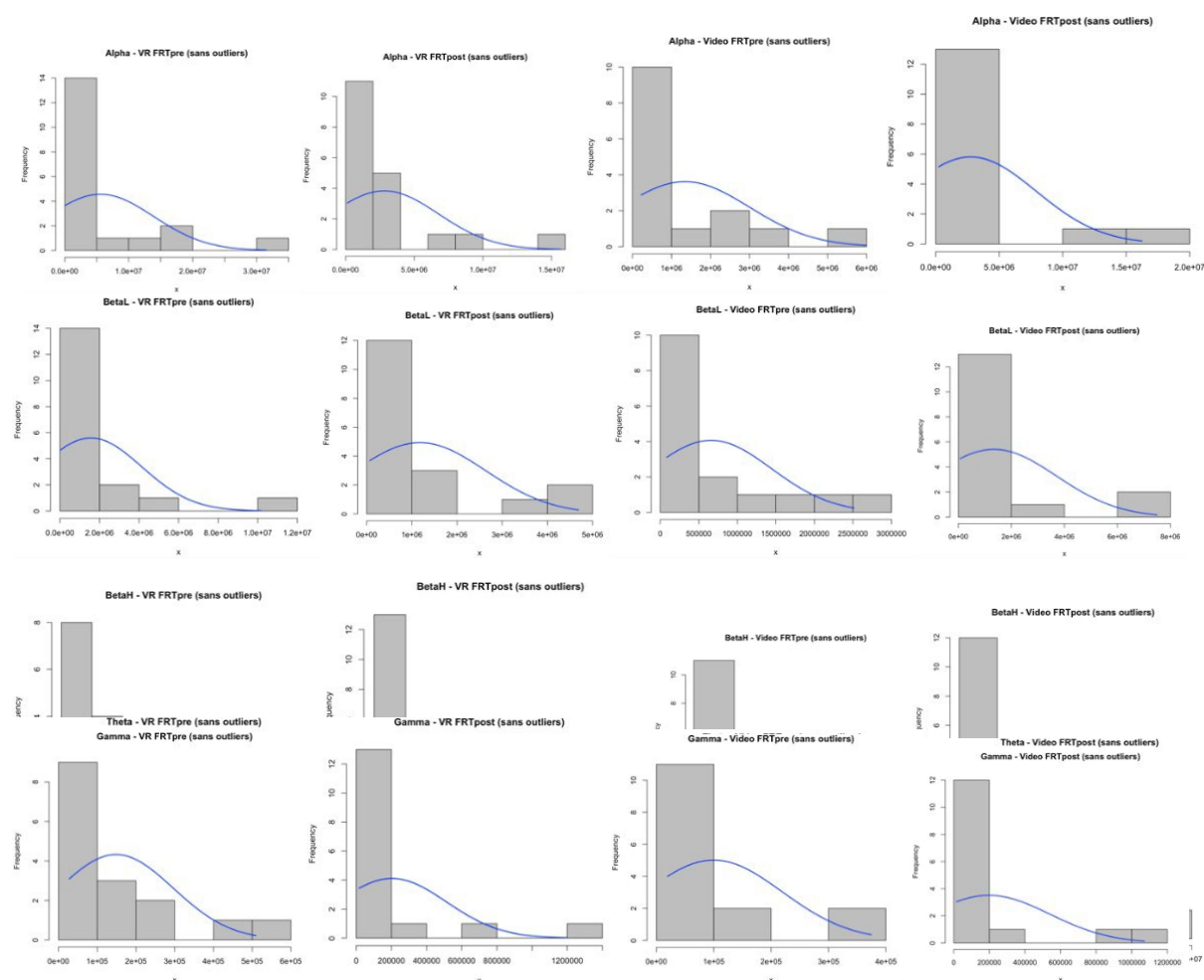
Histogrammes – EEG



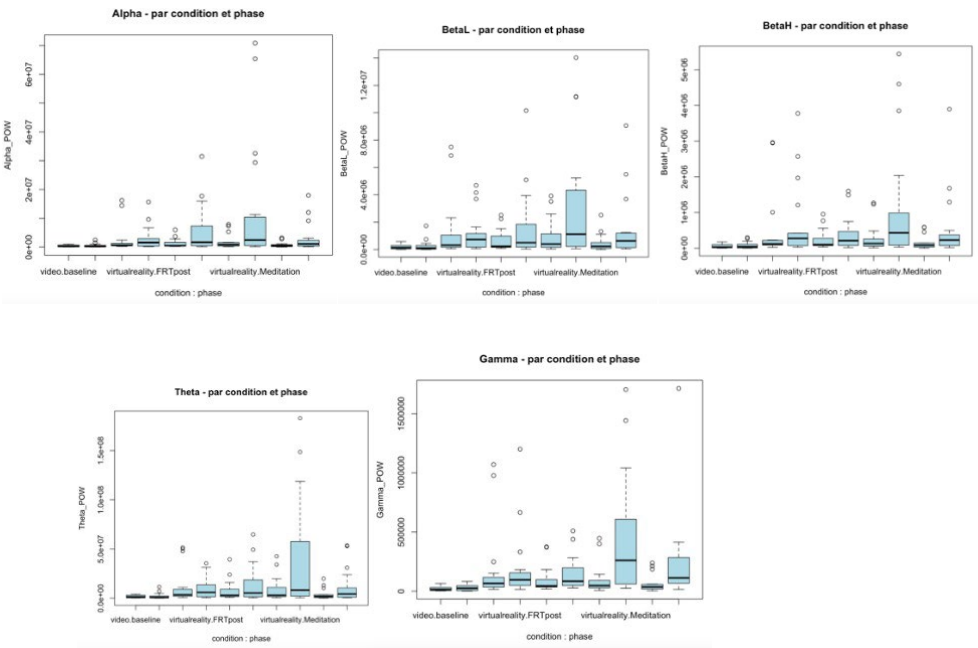
Boxplots – EEG



Histogrammes sans les outliers – EEG



Boxplots sans les outliers – EEG



Score EEG selon la phase, la bande et la condition

