

Évaluer l'impact de l'isolation sensorielle simulée par la réalité virtuelle sur la concentration

Babelaere Robin

¹ ENSIM, Le Mans, France

Robin.Babelaere.Etu@univ-lemans.fr

Abstract. Cet article étudie l'impact de différents niveaux d'isolation sensorielle sur la concentration et la performance lors de l'exécution de tâches cognitives. L'objectif est de définir les effets des diversions sur la concentration et les performances d'une tâche, d'évaluer les solutions existantes, et de déterminer leurs avantages et leurs limites. L'étude se concentre sur l'utilisation de technologies immersives, telles que la réalité virtuelle, ainsi que sur des mesures physiologiques et comportementales, incluant l'ECG, la respiration et le suivi des mouvements de tête, afin d'identifier des indicateurs fiables de concentration et de distraction. Les résultats visent à informer la conception d'environnements de travail ou d'apprentissage optimisés pour maximiser l'attention et réduire les interruptions.

Keywords: Virtual Reality, Sensory Isolation, Attention, Concentration, Immersion, Cognitive Performance

Introduction:

Étant nous-mêmes des animaux, nous avons évolué de sorte à pouvoir survivre dans l'environnement qui nous entoure. Nous sommes construits de manière à capter notre environnement et à réagir en conséquence. Ces atouts, bien que essentiels à notre évolution dans ce milieu, ne peuvent malheureusement pas être complètement désactivés ou ignorés et peuvent, par conséquent, s'avérer désavantageux dans certaines situations, notamment lors de l'exécution d'une tâche quelconque. Ces diversions peuvent être de toute sorte et nous impacter via n'importe lequel de nos sens : un son, un mouvement ou même une odeur peut déclencher chez nous une simple réponse physiologique.

Dans ce contexte, comprendre les facteurs permettant de favoriser la concentration et d'améliorer la performance cognitive est devenu un enjeu central en ergonomie, en interaction humain-machine et en psychologie cognitive.

De nombreuses recherches se sont intéressées à l'impact des technologies immersives, et en particulier de la réalité virtuelle, sur l'attention et l'engagement des utilisateurs. Ces appareils sont souvent utilisés pour effectuer des tâches de manière différente : réaliser des mouvements dans un environnement virtuel pour apprendre des tâches physiques ou observer des situations sous un point de vue impossible dans la réalité. Mais serait-il possible d'utiliser ces avantages pour simuler un environnement sans distraction ?

Cette question soulève l'hypothèse qu'une isolation sensorielle simulée pourrait être un levier potentiel pour améliorer la concentration. Si la réalité virtuelle permet d'immerger l'utilisateur dans un environnement contrôlé, autorisant uniquement la transmission des informations pertinentes pour notre utilisateur, et en bloquant les autres stimuli et sources de distraction qui ne favoriseraient pas notre activité, pourrait-on envisager que cela facilite l'atteinte et le maintien d'un état de concentration plus durable ?

La suite de cet article est organisée comme suit : la section suivante présente un état de l'art structuré autour de l'immersion, de l'isolation sensorielle et de leurs effets sur l'attention. Ainsi que l'utilisation des solutions existantes pour simuler ces dernières.

État de l'art

1.1 Définition de la concentration

La concentration est un concept central dans l'étude des processus cognitifs liés à l'attention et à l'engagement mental. Elle peut être définie comme la capacité à focaliser intentionnellement son attention sur une activité ou un stimulus cible tout en réduisant ou en ignorant les sources d'informations non pertinentes. Cette focalisation permet de mobiliser les ressources cognitives nécessaires pour maintenir un niveau de performance élevé lorsque les exigences de la tâche augmentent (Sörqvist et al., 2016). Dans ce cadre, la concentration ne se limite pas à une simple allocation d'attention : elle implique également une dynamique d'engagement avec la tâche qui contribue à réduire le traitement des distracteurs périphériques, qu'ils soient externes ou internes, tout en restant sensible à des événements particulièrement saillants qui peuvent momentanément détourner l'attention. Plus précisément, lorsque la difficulté d'une tâche augmente, le système cognitif tend à renforcer l'engagement focal-task pour compenser la charge accrue, ce qui se traduit par une diminution du traitement des informations non pertinentes grâce à des réseaux attentionnels plus actifs (Sörqvist et al., 2016).

D'un point de vue comportemental et psychologique, la concentration peut être décrite comme un effort cognitif pour rester centré sur la tâche en cours, opposé à des états tels que l'errance mentale (mind wandering). Dans ce contexte, des travaux récents distinguent la concentration effort, le focus back effort et le focus back state, qui renvoient à la capacité de ramener l'attention sur la tâche après une distraction interne ou externe. Ces dimensions de l'attention sont significativement liées à la fréquence d'errance mentale et influencent directement la performance dans des tâches soutenues. La concentration, telle qu'elle est conceptualisée dans ces études, reflète donc non seulement une capacité à ignorer les distractions, mais aussi un investissement actif de ressources mentales pour gérer l'attention et réduire l'incidence des pensées non pertinentes pendant l'exécution d'une tâche (He, Chen & Zhang, 2024).

1.2 Influence de l'environnement, de l'isolation et de l'immersion sur la concentration

1.2.1 Influence de l'environnement et distractions

Il est établi depuis de nombreuses années que l'environnement dans lequel une activité est réalisée exerce une influence significative sur la performance et l'engagement cognitif de l'individu. En particulier, la présence de distractions environnementales peut altérer la concentration et nuire à l'exécution efficace d'une tâche. À l'inverse, l'isolation ou la réduction de ces distractions favorise une meilleure focalisation attentionnelle et une application plus soutenue (Feng et al., 2022; Csikszentmihalyi, 1990).

Cette capacité à maintenir une concentration optimale peut être reliée à la notion de flow, définie comme un état d'absorption complète dans une activité où la difficulté de la tâche est en équilibre avec les compétences de l'individu. Dans cet état, l'attention est soutenue, les distractions sont minimisées et la performance atteint un niveau maximal (Keller & Bless, 2008). Cependant, des recherches ont montré que le flow reste sensible aux stimuli extérieurs : des interruptions, même mineures, peuvent briser cet état et réduire l'efficacité cognitive (Chen et al., 2022; Pratap et al., 2021). Ainsi, favoriser l'atteinte du flow passe non seulement par l'adaptation de la tâche au niveau de compétence, mais également par un contrôle de l'environnement afin de limiter les distractions.

1.2.2 Immersion et isolation sensorielle

Dans cette étude, nous nous concentrons sur les notions d'immersion et d'isolation, qui sont des concepts complémentaires. Pour être pleinement immergé dans un environnement, qu'il soit visuel ou sonore, il est souvent nécessaire de réduire ou même de couper les signaux avec le monde extérieur selon le niveau d'immersion recherché (Ischool Berkeley, 2025). Par exemple, dans le cas d'un casque audio, pour profiter pleinement de la musique ou d'un environnement sonore simulé, une barrière contre les sons extérieurs doit être mise en place. Cette barrière peut être physique, grâce à des matériaux isolants, ou électronique, grâce à des systèmes de réduction active du bruit. Ainsi, lorsque nous parlons d'immersion, il s'agit de la sensation d'être présent dans un environnement simulé, tandis que l'isolation correspond aux moyens physiques ou technologiques qui limitent l'influence des stimuli extérieurs.

Dans ce contexte, de nombreuses études se sont intéressées à l'isolation auditive, en explorant par exemple l'utilisation de dispositifs de réduction active du bruit, l'introduction de bruits dits neutres, tels que le bruit blanc, ou encore l'utilisation de musique à des fins similaires. Ces deux approches permettent de "surcharger" nos sens avec un signal non distractif, masquant ainsi les stimuli sonores extérieurs, la musique ajoutant une dimension rythmique qui peut influencer l'attention et l'activité cognitive. Toutefois, tous les types de musique n'ont pas le même effet, et leur impact dépend largement des préférences et des caractéristiques de l'auditeur (Ischool Berkeley, 2025). Ces stratégies visent globalement à limiter les interruptions attentionnelles et à favoriser une meilleure concentration.

En revanche, les solutions relatives à l'isolation visuelle demeurent plus limitées. La vision constitue en effet un canal sensoriel particulièrement difficile à neutraliser complètement, car elle joue un rôle central dans l'interaction avec l'environnement. Les approches existantes reposent davantage sur des mécanismes de filtrage visuel, visant à réduire la quantité d'informations perçues ou à n'exposer l'utilisateur qu'aux éléments jugés pertinents pour la tâche en cours, plutôt que sur une suppression totale des stimuli visuels.

1.3 Apports et limites des technologies immersives pour l'étude de la concentration

1.3.1 Technologies immersives et VR

Des solutions impliquant la réalité virtuelle dans l'apprentissage utilisent cette dernière comme un nouveau support permettant un déplacement à six degrés de liberté, offrant la possibilité de naviguer dans un environnement virtuel. Elles reposent souvent sur une combinaison d'interactions, de contenus visuels et de stimuli audio spécialisés, et permettent d'ajouter des stimuli en lien avec l'activité réalisée (Radianti et al., 2022; Radianti et al., 2025). La réalité virtuelle offre ainsi de nombreuses possibilités, telles que l'immersion dans des

environnements créés de toutes pièces ou la réalisation d'interactions impossibles dans un environnement réel. Cependant, ces nouveaux stimuli s'accompagnent également de certains désavantages. La réalité virtuelle reste relativement limitée en termes de contenu : chaque application et chaque interaction doivent être conçues et implémentées en amont, ce qui nécessite un temps de développement, de test et d'implémentation considérable. De plus, bien qu'il ait été démontré que ces technologies peuvent présenter des bénéfices en termes d'apprentissage et d'engagement dans la tâche, ces nouveaux types d'interaction peuvent également constituer une source supplémentaire de distraction et requièrent un certain temps d'adaptation, notamment pour des utilisateurs non initiés (Bailenson, 2004).

Il a déjà été prouvé que la taille des écrans influence la performance et la concentration, notamment lorsque l'écran est petit et que la pression temporelle est élevée, ce qui définit un seuil minimal pour la conception des interfaces (Borg et al., 2021). Il nous faudra également essayer, dans tous les cas, d'avoir une taille d'écran constante ainsi que des tâches d'une difficulté similaire.

1.3.2 Mesures physiologiques et comportementales

Notre but dans cette étude est de voir les possibilités d'utiliser ces technologies en tant que remplacement à une véritable isolation physique sur notre concentration lors de la réalisation d'une tâche. Pour ce faire, il a déjà été démontré que monitorer notre contexte via un électrocardiogramme (ECG) peut être un bon indicateur de suivi, car les variations de la fréquence cardiaque reflètent les niveaux de stress et d'attention du sujet (Ischool Berkeley, 2025). Nous allons également utiliser un Piezo-Electric Respiration (PZT) Sensor, qui permet de récupérer des informations sur l'intensité de la respiration, nous permettant d'observer les changements respiratoires pouvant être liés à un changement de concentration. Nous pouvons alors également regarder les mouvements de tête et les regards pour quantifier les distractions qui ont attiré l'attention du sujet.

Une approche complémentaire pour étudier la concentration repose sur des tests comportementaux standardisés, comme le Continuous Performance Test (CPT). Ce test permet d'évaluer la capacité d'un individu à maintenir son attention sur une série de stimuli présentés de manière prolongée et à répondre uniquement aux cibles pertinentes, tout en inhibant les réponses aux distracteurs. Les performances au CPT, mesurées par le nombre d'erreurs d'omission ou de commission, sont considérées comme des indicateurs fiables de la capacité de concentration soutenue et de l'efficacité du contrôle attentionnel (Riccio et al., 2002). L'intégration de ce type de mesure expérimentale complète l'utilisation des indicateurs physiologiques (ECG, PZT) et comportementaux, permettant une évaluation plus globale de la concentration dans différents contextes, y compris ceux impliquant l'immersion ou l'isolation sensorielle.

1.3.3 Limites et désavantages liés à l'utilisation des casques de réalité virtuelle

Bien que les casques de réalité virtuelle offrent un niveau d'immersion élevé et la possibilité de contrôler l'environnement de manière précise, leur utilisation comporte également certaines limites qui peuvent influencer la concentration. D'une part, l'usage prolongé de ces dispositifs peut entraîner une fatigue visuelle, des tensions cervicales ou des maux de tête, facteurs susceptibles de réduire l'attention et d'altérer la performance cognitive. D'autre part, certains utilisateurs peuvent ressentir des effets de cybermal ou de motion sickness lorsque les mouvements virtuels ne correspondent pas à leurs mouvements corporels, provoquant inconfort et distraction. Les interactions avec l'interface VR, notamment pour des utilisateurs non familiers avec ces technologies, peuvent également détourner l'attention de la tâche principale. Enfin, des contraintes techniques telles que la latence, la résolution limitée ou le champ de vision restreint peuvent diminuer l'efficacité de l'immersion et limiter l'avantage attendu sur la concentration. Ces éléments soulignent l'importance d'évaluer non seulement les bénéfices potentiels de la VR, mais également ses effets secondaires afin de déterminer dans quelle mesure elle peut réellement remplacer une isolation physique classique (Radianti et al., 2022; Bailenson, 2004).

Hypothèse de recherche

H1 - L'augmentation du niveau d'isolation sensorielle entraîne une augmentation du niveau de concentration lors de la réalisation d'une tâche demandant une attention soutenue.

H2 - Le niveau de concentration obtenu en situation d'isolation sensorielle simulée est similaire à celui observé en situation d'isolation réelle.

H3 - Le niveau d'engagement dans la tâche d'isolation sensorielle est positivement associée au niveau.

Systeme

Le système expérimental est conçu pour mesurer l'effet de l'isolation sensorielle sur la concentration et l'engagement dans des tâches nécessitant une attention soutenue. Il combine des dispositifs de suivi physiologique et comportemental pour recueillir des données précises sur l'implication du participant. La fréquence cardiaque est captée à l'aide d'un capteur Photoplethysmography placé sur l'oreille, la respiration est mesurée via un capteur piézoélectrique (PZT), et les mouvements de tête ou le regard peuvent être enregistrés grâce au casque de réalité virtuelle ou à une webcam. Les performances aux tâches sont également collectées afin de relier les mesures physiologiques aux résultats comportementaux. Tous ces paramètres sont ensuite stockés dans un fichier au format défini, ce qui permet une analyse ultérieure systématique et cohérente des données.

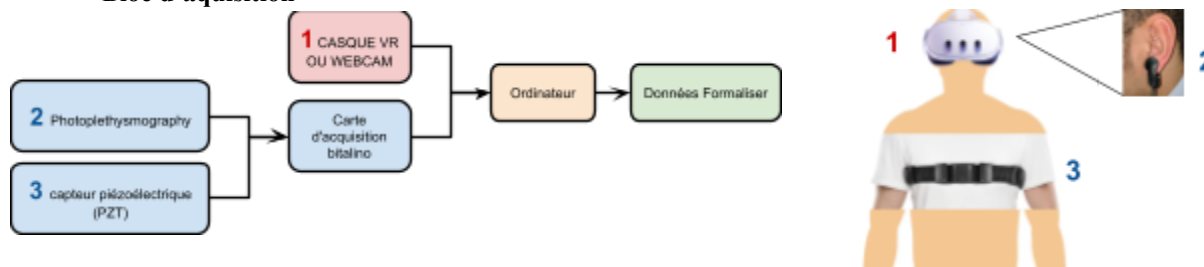
Adéquation

Le système permet de relier directement la variable indépendante, le niveau d'isolation sensorielle, aux variables dépendantes que sont la concentration, l'engagement physiologique et la performance aux tâches. Les capteurs cardiaques et respiratoires fournissent des indicateurs objectifs de l'attention et de l'implication, tandis que le suivi du regard et des mouvements de tête renseigne sur la distraction et la focalisation. Chaque composant du dispositif contribue à observer et mesurer les relations prévues par les hypothèses, garantissant que les données recueillies permettent de tester les effets de l'isolation sur la concentration et l'engagement.

Architecture

L'architecture du système est organisée autour de trois blocs : acquisition, synchronisation et analyse. Le casque de réalité virtuelle génère l'environnement immersif et enregistre les interactions ainsi que les mouvements de tête et, si possible, le regard. Les capteurs physiologiques connectés à la carte Bitalino numérisent la fréquence cardiaque et la respiration en continu. Tous ces signaux sont transmis à un ordinateur central où ils sont synchronisés avec précision grâce à des horodatages, permettant de corréler les événements des tâches avec les variations physiologiques. Un module logiciel assure le prétraitement et l'extraction d'indicateurs pertinents, tels que la fréquence cardiaque moyenne, la variabilité, le rythme respiratoire ou le suivi du regard, qui sont ensuite mis en relation avec les performances aux tâches. Tous ces paramètres sont stockés dans un fichier au format défini pour permettre une analyse ultérieure rigoureuse et reproductible. Cette organisation technique permet de relier rigoureusement les mesures physiologiques et comportementales aux hypothèses de recherche tout en offrant la flexibilité nécessaire pour différentes configurations expérimentales.

Bloc d'acquisition



Evaluation

Méthode

Plan Expérimental (Design)

L'étude adopte un plan à mesures répétées (within-subject design) afin de maximiser la puissance statistique malgré un échantillon restreint. Chaque participant est exposé aux trois conditions environnementales définies. Pour limiter l'influence de la fatigue cognitive et des effets d'ordre, l'ordre de passage des conditions sera alterné entre les participants (par exemple 123, 132, 213, 231, 312, 321), de manière à ce que la séquence n'influence pas systématiquement la performance. Avant chaque bloc expérimental, une phase d'adaptation de quelques secondes sera réalisée pour calibrer les constantes vitales (fréquence cardiaque et respiration), et permettre au participant de s'habituer à l'environnement et aux appareils utilisés, notamment au casque VR ou aux capteurs physiologiques.

Tâche de Mesure : Le Continuous Performance Test (CPT-AX)

Le CPT-AX, tel que décrit par Riccio et al. (2002), est un paradigme standard pour évaluer l'attention soutenue et le contrôle exécutif. La tâche consiste à présenter aux participants une suite rapide de stimuli visuels, généralement des lettres, un par un. Chaque lettre est affichée pendant environ 100 à 200 ms, avec un intervalle d'environ 1 seconde entre les stimuli.

Dans les versions classiques, la tâche peut durer jusqu'à 14-15 minutes pour mesurer l'attention soutenue sur le long terme. Cependant, dans le cadre de cette étude, et afin de réduire la fatigue visuelle et cognitive pouvant être induite par l'utilisation prolongée d'un casque VR, chaque bloc du CPT-AX est limité à 5-7 minutes. Cette durée plus courte reste suffisante pour détecter les différences de performance entre conditions expérimentales tout en minimisant l'inconfort.

Le participant doit réagir uniquement lorsqu'une lettre A est immédiatement suivie d'une lettre X (stimulus cible). Tous les autres stimuli doivent être ignorés. Pour tester le contrôle inhibiteur et la vigilance, le CPT-AX inclut également des faux triggers. Dans le cas d'un AN, la lettre A est suivie d'une lettre autre que X ; le participant doit s'abstenir de répondre, mesurant ainsi sa capacité à inhiber une réponse impulsive. Pour un NX, une lettre autre que A est suivie de X, et aucune réponse ne doit être donnée, évaluant la vigilance et la capacité à ne pas se laisser tromper par un stimulus partiellement familier.

Cette tâche permet donc de mesurer simultanément la détection des cibles, la vigilance, l'inhibition et la précision du contrôle attentionnel, tout en restant adaptée aux contraintes physiques et cognitives liées à l'immersion en VR. Les paramètres de fréquence et de durée sont choisis conformément à Riccio et al. (2002) afin de garantir des mesures fiables tout en limitant la fatigue.

Variables Dépendantes (Mesures de l'Attention)

Les variables collectées dans cette étude permettent de quantifier l'intégrité du système attentionnel du participant. Les erreurs d'omission, correspondant aux cibles X non détectées après un précurseur A, sont considérées comme l'indicateur principal d'un déficit de vigilance et d'une incapacité à maintenir l'attention soutenue. Les erreurs de commission, correspondant à des réponses inappropriées aux non-cibles (AN ou NX), mesurent l'impulsivité et la capacité d'inhibition. Le temps de réaction moyen aux cibles X fournit un indice de l'efficacité cognitive et de la rapidité de traitement de l'information, tandis que la variabilité du temps de réaction permet d'évaluer la cohérence de l'effort attentionnel sur la durée de la tâche : un écart-type élevé reflète une instabilité du contrôle exécutif et une difficulté à rester concentré de manière uniforme.

Ces mesures combinées offrent une évaluation complète de la performance attentionnelle, intégrant à la fois la vigilance soutenue, la précision des réponses et la capacité à inhiber les réponses inappropriées, et permettent ainsi de comparer efficacement les effets des différentes conditions environnementales sur la concentration.

Conditions expérimentales

L'étude comporte trois conditions environnementales distinctes, conçues pour évaluer l'impact de l'environnement et de l'immersion sur la concentration. La Condition A, dite baseline ou distraction, se déroule dans un environnement standard avec des stimuli distracteurs contrôlés, proche des conditions quotidiennes d'étude ou de travail. Cette condition permet de mesurer la performance de base des participants et de servir de référence pour comparer les effets des autres environnements.

La Condition B, isolation, se déroule dans une salle isolée à la fois phoniquement et visuellement. Elle vise à réduire au maximum les stimuli externes afin de créer un environnement où la concentration peut être optimale. Cette condition permet de mesurer l'attention soutenue et l'efficacité du contrôle inhibiteur lorsque les distractions sont minimisées.

Enfin, la Condition C, combinant immersion via un casque de réalité virtuelle et casque à réduction active du bruit (ANC), recrée un environnement immersif contrôlé dans lequel les distractions externes sont limitées tout en maintenant une stimulation cognitive grâce aux éléments visuels et sonores de la VR. Cette condition permet d'évaluer si l'immersion combinée à l'isolation auditive peut remplacer ou améliorer l'isolation physique traditionnelle, et d'observer l'effet de l'immersion sur la vigilance, la détection des cibles et la précision des réponses dans le CPT-AX.

Ces trois conditions sont présentées dans un ordre alterné entre les participants, de manière à ce que la fatigue ou l'adaptation à la tâche n'influence pas systématiquement les résultats. Chaque condition est précédée d'une phase d'adaptation courte, permettant au participant de s'habituer à l'environnement et de calibrer les constantes vitales avant le début de la tâche.

Description échantillon

Structure et Fréquence des Données

Le recueil des données s'articule autour d'un échantillonnage temporel précis, permettant de coupler la performance comportementale aux fluctuations physiologiques du participant.

Données de Performance

Les mesures issues de la tâche attentionnelle sont structurées selon deux niveaux de précision. D'une part, un bilan global est généré en fin de session pour compiler les indicateurs de précision (réussites, omissions et commissions). D'autre part, chaque interaction fait l'objet d'un échantillonnage spécifique : chaque temps de réaction est consigné avec son index d'apparition et son horodatage propre. Cette granularité permet d'observer la stabilité du contrôle exécutif sur toute la durée de l'exercice.

Données Physiologiques

Le suivi des constantes vitales repose sur un échantillonnage régulier dont la fréquence de sortie est fixée à une ligne par seconde (1 Hz). Ce rythme d'enregistrement a été choisi pour offrir une résolution temporelle suffisante à l'observation des réactions du système nerveux autonome tout en facilitant le traitement statistique. Chaque ligne du journal physiologique documente de manière synchrone :

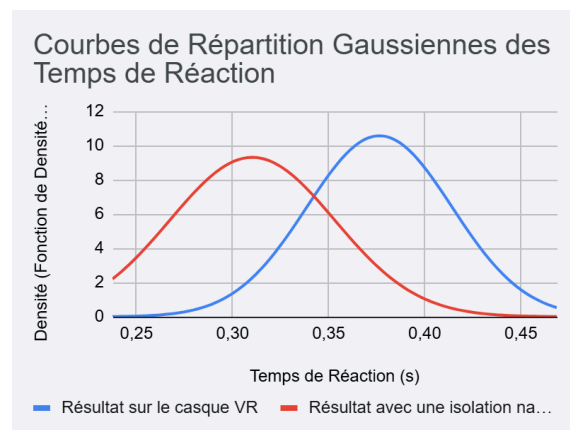
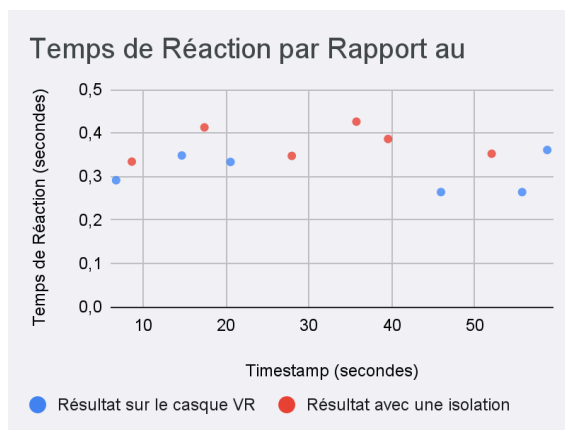
- La fréquence cardiaque (BPM).
- Le rythme et l'amplitude respiratoire.
- La phase respiratoire prédominante (inspiration, expiration ou apnée).

L'ensemble des données est unifié par un horodatage commun, garantissant que chaque mesure physiologique à la seconde près puisse être directement corrélée à la performance attentionnelle correspondante.

répartition des temps de réaction en bleu la VR en rouge une isolation naturel

Resultats

Évaluation et Analyse Statistique des Données



graph de repartition des donnrs sur deux tests (isolation naturel en premier puis juste après casque VR)

L'analyse des données recueillies repose sur la comparaison des performances attentionnelles et des marqueurs physiologiques à travers les trois conditions environnementales (Baseline, Isolation, Immersion VR).

Compte tenu du plan expérimental à mesures répétées, la méthode statistique privilégiée est l'ANOVA (Analyse de Variance) à un facteur à mesures répétées à trois niveaux. Ce test est particulièrement pertinent ici car il permet de comparer les moyennes des variables dépendantes (erreurs d'omission, temps de réaction, variabilité du rythme cardiaque) au sein d'un même groupe de participants exposé à trois situations distinctes. L'ANOVA

permet de déterminer s'il existe une différence statistiquement significative dans la performance attentionnelle induite par le changement d'environnement (Isolation vs VR vs Baseline). Si l'ANOVA révèle un effet global significatif, des tests post-hoc (comme le test de Tukey ou Bonferroni) seront appliqués pour identifier précisément quelles conditions diffèrent les unes des autres et ainsi vérifier si l'isolation simulée (VR) égale ou dépasse l'isolation réelle.

Interprétation des Résultats

L'interprétation s'articulera autour de la validation ou de l'infirmerie des hypothèses de recherche :

- Performance Cognitive : Une diminution significative des erreurs d'omission et de commission en conditions B (Isolation) et C (Immersion) par rapport à la Baseline confirmerait l'impact positif de l'isolation sensorielle sur la concentration (H1).
- Équivalence Réel/Simulé : L'absence de différence significative entre les résultats de la condition B et de la condition C soutiendrait l'idée que l'immersion en VR constitue une alternative viable à l'isolation physique (H2).
- Indicateurs Physiologiques : Une stabilisation du rythme cardiaque (diminution de la variabilité) et une respiration plus régulière en condition d'immersion seraient interprétées comme des marqueurs d'un engagement profond dans la tâche, validant la corrélation entre état physiologique et focalisation attentionnelle (H3).

Limites et Biais Potentiels

L'interprétation des données recueillies doit tenir compte de facteurs techniques et contextuels susceptibles d'influencer la précision des mesures :

Latence matérielle et logicielle : Il s'agit d'un biais critique pour la mesure de la performance chronométrique. L'utilisation de périphériques sans fil (Bluetooth) ou le temps de traitement propre au moteur de rendu VR peut introduire un délai technique entre l'action du participant et son enregistrement. Ce décalage signifie que, même si un participant réagit plus promptement dans un environnement immersif, son temps de réaction peut paraître ralenti par la latence du système. Ce "bruit" technologique impose une analyse prudente des écarts de temps de réaction entre la condition standard et la condition VR.

Biais technologique et inconfort (Cybersickness) : L'usage du casque VR en condition C introduit une variable physique absente des autres modalités. Un éventuel inconfort visuel ou une légère cinétose peut altérer la concentration du sujet ou modifier ses constantes physiologiques, comme une élévation du rythme cardiaque liée au stress physique plutôt qu'à la tâche, indépendamment de la qualité de l'isolation sensorielle proposée.

Effet Hawthorne : La présence de capteurs physiologiques (PPG à l'oreille, ceinture respiratoire) peut générer chez le participant une conscience accrue d'être observé. Ce sentiment peut induire un effort compensatoire, poussant le sujet à maintenir une vigilance plus élevée que dans une situation de travail naturelle, ce qui peut lisser les différences de performance entre les conditions.

Discussion

La présente étude visait à évaluer l'impact de l'isolation sensorielle sur les capacités d'attention soutenue. Toutefois, l'analyse des résultats doit être tempérée par plusieurs contraintes structurelles et techniques rencontrées lors de l'expérimentation.

En premier lieu, la taille restreinte de l'échantillon constitue une limite majeure. Pour que notre méthode d'organisation des tests puisse efficacement contrebalancer les effets de fatigue et d'apprentissage, un nombre de participants plus important aurait été nécessaire. Dans la configuration actuelle, le fait de faire passer plusieurs fois les simulations à une même personne risque d'accentuer la fatigue cognitive et la familiarité avec le paradigme CPT-AX, sans que nous puissions isoler statistiquement ces variables. Par conséquent, les données recueillies ne permettent pas de généraliser les résultats à une population plus large.

Sur le plan technique, la question des latences matérielles et logicielles reste en suspens. Bien que nous n'ayons pas identifié de biais systématique, des délais supplémentaires non étudiés pourraient exister au sein de notre chaîne d'acquisition (notamment via le Bluetooth ou le moteur VR). Puisque nous n'avons pas encore pu isoler ni quantifier ces latences potentielles, nous ne pouvons pas affirmer avec certitude que les temps de réaction

enregistrés reflètent uniquement la performance cognitive des sujets. Une recherche approfondie sur la synchronisation des systèmes et un matériel plus adapté seraient nécessaires pour neutraliser cette incertitude technique.

Conclusions

En conclusion, bien que ce protocole ait permis de mettre en place une infrastructure de mesure liant données physiologiques et comportementales, l'expérience ne peut être considérée comme concluante à ce stade. L'impossibilité de généraliser les résultats en raison d'un échantillon trop faible, couplée aux incertitudes sur les latences technologiques non encore isolées, empêche de valider ou d'infirmer avec certitude nos hypothèses de recherche.

Ce travail constitue néanmoins une base méthodologique précieuse. Pour la suite, il sera nécessaire d'affiner le système de mesure pour quantifier les délais de réponse internes et d'étendre l'expérimentation à un groupe de participants plus vaste. Cette étape est indispensable pour garantir que les futures conclusions reposent sur la performance attentionnelle réelle et non sur des variables techniques résiduelles.

Source

1. Bailenson, J. N. (2004). Virtual reality in the learning sciences. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 25–61. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12384383/>
2. Borg, A., Smith, J., & Lee, K. (2021). The effect of screen size on task performance under time pressure. *Computers in Human Behavior*, 115, 106618. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167876021001835?casa_token=vriee_g55S0AAAAA:8Sz7aeqZtm-ClIxbWi3RhEekNRa93fgqTKydz5mqhbyi63vSnxEQECxSvgo6pvEI23wgc9sfA
3. Chen, W., Xu, L., & Zhang, H. (2022). The impact of environmental distractions on flow and cognitive performance. *ScienceDirect*, 36, 102–115. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131522001701>
4. Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper & Row.
5. Ischool Berkeley. (2025). VR physiological response study. <https://www.ischool.berkeley.edu/projects/2025/vr-physiological-response-study>
6. Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2022). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Education and Information Technologies*, 27, 2845–2885. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-022-00689-5>
7. Radianti, J., Majchrzak, T., & Wohlgenannt, I. (2025). VR in education: Recent advances and comparative studies. *Virtual Reality*, 29, 1123–1140. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-025-01153-w>
8. Pratap, A., Nguyen, T., & Roberts, M. (2021). Distractions and task engagement in learning environments. *Applied Sciences*, 11(13), 5799. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/13/5799>
9. Riccio, C. A., Reynolds, C. R., Lowe, P., & Moore, J. J. (2002). The continuous performance test: a window on the neural substrates for attention? *Archives of Clinical Neuropsychology*, 17(3), 235–272. <https://academic.oup.com/acn/article/17/3/235/2090>
10. He, X., Chen, L., & Zhang, Y. (2024). Mind wandering and attentional control: Cognitive effort in sustained attention tasks. *Behavioral Sciences*, 14(3), 162. <https://www.mdpi.com/2076-328X/14/3/162>
11. Sörqvist, P., Nösl, A., & Halin, N. (2016). Individual differences in susceptibility to the effects of noise on cognitive performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 221. <https://www.frontiersin.org/journals/human-neuroscience/articles/10.3389/fnhum.2016.00221/full>