

1. Introduction

La réalité virtuelle (VR) connaît une croissance rapide et est aujourd'hui utilisée dans de nombreux domaines tels que le jeu vidéo, la formation professionnelle, la médecine, la recherche scientifique ou encore l'éducation. Grâce aux casques immersifs (Head Mounted Displays – HMD), les utilisateurs peuvent interagir dans des environnements numériques simulés et ressentir un haut niveau de présence et d'immersion.

Cependant, l'un des principaux obstacles à l'adoption massive de la VR reste l'apparition de symptômes physiologiques appelés **cybersickness**. Ce phénomène correspond à un ensemble de réactions physiologiques similaires au mal des transports qui apparaissent lors de l'utilisation d'environnements virtuels immersifs.

La cybersickness constitue aujourd'hui un problème majeur pour les concepteurs d'expériences VR, car elle limite la durée d'exposition et peut dégrader fortement l'expérience utilisateur.

Selon plusieurs études, entre **60 % et 80 % des utilisateurs peuvent ressentir des symptômes de cybersickness après quelques minutes d'exposition à un environnement VR immersif**, ce qui constitue un frein important à l'adoption de ces technologies.

Ainsi, la compréhension des causes de la cybersickness et le développement de systèmes capables de la détecter et de la prévenir représentent un enjeu majeur dans la conception des environnements immersifs.

2. Définition de la cybersickness

La cybersickness est une forme spécifique de mal des transports provoquée par l'exposition à des environnements virtuels. Elle se produit lorsque l'utilisateur perçoit un mouvement visuel dans l'environnement virtuel alors que son corps reste immobile dans le monde réel.

Le terme cybersickness a été introduit pour décrire les effets physiologiques liés à l'utilisation des technologies immersives telles que les casques VR. Ces effets peuvent inclure des sensations de malaise, des perturbations de l'équilibre ou encore des troubles visuels.

La cybersickness est souvent expliquée par la **théorie du conflit sensoriel**. Selon cette théorie, les symptômes apparaissent lorsque les informations envoyées au cerveau par les différents systèmes sensoriels (vision, système vestibulaire et proprioception) sont incohérentes.

Par exemple :

- les yeux perçoivent un mouvement dans l'environnement virtuel
- l'oreille interne ne détecte aucun mouvement réel

Cette contradiction entre les signaux sensoriels provoque une réaction physiologique qui se manifeste par différents symptômes.

3. Symptômes de la cybersickness

Les symptômes de la cybersickness sont proches de ceux observés dans le mal des transports. Les plus fréquents sont :

- nausées
- vertiges
- désorientation
- fatigue visuelle
- maux de tête
- transpiration
- fatigue générale

Les trois symptômes principaux observés dans la littérature scientifique sont :

- la **nausée**
- la **désorientation**
- l'**inconfort oculomoteur**.

Ces symptômes peuvent apparaître après quelques minutes d'exposition et peuvent parfois persister plusieurs heures après la session VR.

La cybersickness peut également affecter les performances cognitives et motrices des utilisateurs, notamment en diminuant leurs capacités d'orientation spatiale ou de navigation dans l'environnement virtuel.

4. Facteurs déclencheurs de la cybersickness

Plusieurs facteurs techniques, physiologiques et environnementaux peuvent provoquer ou amplifier les symptômes de cybersickness.

Facteurs techniques

Certains paramètres techniques des systèmes VR sont directement liés à l'apparition des symptômes :

- faible taux de rafraîchissement (FPS)
- latence élevée entre les mouvements de la tête et l'affichage

- champ de vision trop large
- mouvements de caméra rapides

Des études ont également montré que les environnements dynamiques provoquent généralement plus de cybersickness que les environnements statiques.

Facteurs physiologiques

Les caractéristiques individuelles des utilisateurs jouent également un rôle important :

- sensibilité personnelle au mal des transports
- fatigue
- âge
- expérience préalable en VR

Certaines recherches indiquent également que certains groupes d'utilisateurs peuvent être plus sensibles aux symptômes que d'autres.

Facteurs visuels

Les systèmes VR peuvent également provoquer des conflits visuels spécifiques.

Un exemple est le **conflit vergence-accommodation**, qui se produit lorsque les yeux doivent simultanément ajuster leur convergence et leur focalisation sur des objets virtuels situés à différentes distances.

Ce conflit peut provoquer :

- fatigue visuelle
- inconfort oculaire
- maux de tête

5. Méthodes existantes de détection de la cybersickness

Plusieurs approches ont été développées pour mesurer et détecter la cybersickness.

Questionnaires subjectifs

La méthode la plus utilisée pour mesurer la cybersickness est le **Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)**, développé par Kennedy et ses collègues.

Le SSQ repose sur un ensemble de questions permettant d'évaluer l'intensité des symptômes ressentis par les utilisateurs.

D'autres questionnaires ont été proposés :

- Virtual Reality Sickness Questionnaire (VRSQ)
- Cybersickness Questionnaire for VR (CSQ-VR).

Cependant ces méthodes présentent certaines limites :

- elles reposent sur l'auto-évaluation de l'utilisateur
- elles ne permettent pas une détection en temps réel.

Mesures physiologiques

Certaines recherches utilisent des signaux physiologiques pour détecter la cybersickness :

- fréquence cardiaque
- conductance de la peau
- activité cérébrale
- dilatation pupillaire

Ces approches peuvent fournir des indicateurs objectifs mais nécessitent souvent des capteurs supplémentaires, ce qui peut compliquer leur intégration dans des systèmes VR grand public.

Approches basées sur le Machine Learning

Plus récemment, plusieurs travaux ont proposé d'utiliser des modèles d'apprentissage automatique pour détecter ou prédire la cybersickness à partir de données physiologiques ou comportementales.

Par exemple, certains modèles de machine learning ont été capables de détecter la cybersickness avec une précision supérieure à 90 % en utilisant des données physiologiques et des informations sur les mouvements dans l'environnement VR.

Cependant ces approches présentent encore plusieurs limitations :

- manque d'explicabilité des modèles
- difficulté d'intégration dans les systèmes VR en temps réel
- dépendance à des capteurs physiologiques spécifiques.

6. Méthodes existantes de prévention

Plusieurs techniques ont été proposées pour réduire la cybersickness dans les environnements VR.

Par exemple :

- réduction du champ de vision lors des mouvements
- téléportation au lieu du déplacement continu
- flou visuel lors des rotations
- réduction de la vitesse de déplacement

Certaines études ont également montré que des techniques visuelles comme le **rotation blurring** peuvent réduire les symptômes de cybersickness lors des mouvements dans les environnements VR.

Cependant, ces solutions restent généralement **statiques et non personnalisées**.

7. Limites des solutions existantes

Malgré les progrès réalisés, plusieurs limitations persistent dans les systèmes actuels :

- absence d'analyse en temps réel des comportements utilisateurs
- solutions de réduction souvent statiques
- manque d'adaptation aux profils individuels
- dépendance à des questionnaires post-expérience

De plus, de nombreuses études indiquent que les effets secondaires liés à la VR sont encore insuffisamment identifiés ou analysés dans les recherches actuelles.

Ces limitations montrent la nécessité de développer des systèmes plus intelligents capables de détecter et d'anticiper la cybersickness de manière dynamique.

8. Apport du projet proposé

Face aux limites des solutions existantes, ce projet propose une approche différente basée sur l'analyse des comportements et des mouvements des utilisateurs dans les environnements VR.

Le système envisagé vise à :

- analyser les mouvements de l'utilisateur dans l'environnement VR
- identifier les patterns comportementaux associés à la cybersickness
- détecter les signes précoces de malaise
- adapter dynamiquement les paramètres de l'environnement VR

L'objectif est de concevoir un système capable de fonctionner **en temps réel**, sans nécessiter de capteurs physiologiques complexes.

Cette approche permettrait :

- une détection plus rapide des symptômes
- une adaptation dynamique de l'expérience VR
- une amélioration de l'expérience utilisateur.

9. Conclusion

La cybersickness constitue aujourd'hui l'un des principaux défis de la réalité virtuelle immersive. Bien que plusieurs méthodes de détection et de prévention aient été développées, elles restent souvent limitées par leur caractère statique ou par leur dépendance à des questionnaires subjectifs.

Les recherches récentes montrent l'intérêt croissant des approches basées sur l'analyse des données et l'intelligence artificielle pour détecter et prévenir les symptômes de cybersickness.

Dans ce contexte, le développement d'un système intelligent capable d'analyser les comportements des utilisateurs et d'adapter dynamiquement l'environnement VR représente une perspective prometteuse pour améliorer l'accessibilité et le confort des expériences immersives.

Sources :

https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality_sickness

<https://www.frontiersin.org/journals/virtual-reality/articles/10.3389/frvir.2025.1518735/full>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-023-00795-y>

https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality_sickness

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213485322000664>

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8963115/>

<https://physiotherapy.review/The-effect-of-dynamic-and-static-virtual-reality-environments-on-the-prevalence-of-cybersickness-symptoms%2C161%2C55365%2C0%2C1.html>

<https://mprcenter.org/review/modern-virtual-reality-technology-cybersickness-sense-of-presence-and-gender>

https://en.wikipedia.org/wiki/Vergence%E2%80%93accommodation_conflict

<https://arxiv.org/pdf/2301.12591>

<https://arxiv.org/abs/2209.05257>

<https://arxiv.org/abs/1710.02599>

<https://mental.jmir.org/2023/1/e43240/>