

Architecture technique du système

1. Vue générale de l'architecture

Le système proposé vise à détecter et prévenir la cybersickness en réalité virtuelle en temps réel à partir des données de mouvement capturées par les capteurs intégrés du casque VR.

Contrairement aux méthodes traditionnelles basées sur des questionnaires ou des capteurs physiologiques externes, cette architecture exploite les données cinématiques disponibles directement dans les casques VR, notamment les mouvements de tête et les informations de position dans l'espace.

Plusieurs travaux de recherche ont montré que les données de head-tracking (position, vitesse et accélération de la tête) peuvent être utilisées comme indicateurs non invasifs pour détecter la cybersickness.

Par exemple, une étude utilisant les données de mouvement de tête issues d'un casque VR a réussi à prédire la cybersickness avec 76 % de précision et 83 % de précision de classification grâce à des algorithmes d'apprentissage automatique.

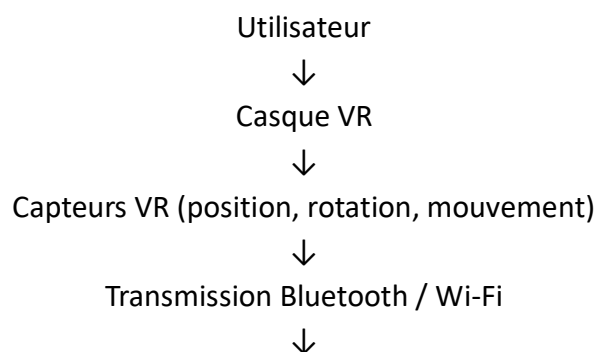
L'architecture proposée repose sur une pipeline de traitement en plusieurs étapes, allant de la collecte des données brutes jusqu'à l'adaptation dynamique de l'environnement VR.

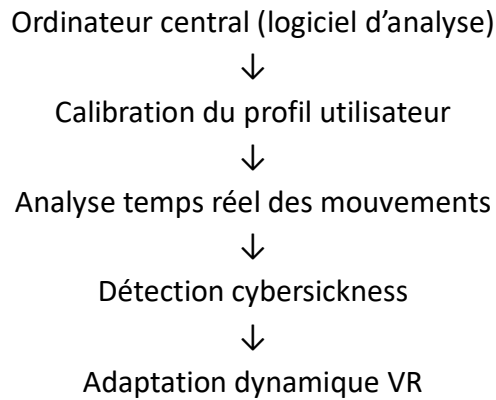
2. Architecture globale du système

Le système se compose de **quatre modules principaux** :

1. Acquisition des données VR
2. Transmission des données
3. Analyse et détection de la cybersickness
4. Adaptation dynamique de l'environnement VR

Le flux général de traitement est le suivant :





3. Module d'acquisition des données

Les casques de réalité virtuelle modernes disposent de plusieurs capteurs intégrés capables de mesurer en continu les mouvements de l'utilisateur.

Les principales données collectées sont :

- position de la tête (X, Y, Z)
- rotation de la tête (pitch, yaw, roll)
- vitesse de déplacement
- accélération
- direction du regard (eye-tracking dans certains casques)
- données physiologiques possibles (température corporelle, biométrie)

Ces données sont capturées par les capteurs internes du casque et stockées temporairement dans la carte électronique du dispositif VR.

Les études montrent que **les mouvements de tête constituent une source de données continue et non invasive pour détecter la cybersickness**, car ils sont déjà disponibles dans tous les casques VR commerciaux.

4. Module de transmission des données

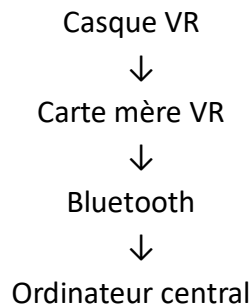
Les données brutes capturées par les capteurs VR sont ensuite transmises vers un ordinateur externe qui héberge le logiciel principal d'analyse.

La transmission peut s'effectuer via plusieurs technologies :

- Bluetooth
- Wi-Fi

- connexion USB

Dans l'architecture proposée, la transmission est réalisée via **Bluetooth**, ce qui permet un transfert continu des données en temps réel vers l'ordinateur.



L'ordinateur central exécute le logiciel de traitement des données et l'algorithme de détection.

5. Phase de calibration initiale

Au début de chaque session VR, le système effectue une **phase de calibration** permettant de définir le comportement normal de l'utilisateur.

Pendant les premières secondes d'utilisation (environ **5 secondes**), le système observe les mouvements naturels de l'utilisateur.

Durant cette phase, plusieurs paramètres sont calculés :

- vitesse moyenne de rotation de la tête
- amplitude moyenne des mouvements
- fréquence des micro-mouvements
- stabilité des mouvements

Ces données permettent de construire un **profil comportemental initial propre à chaque utilisateur**.

Cette approche personnalisée est importante car les recherches montrent que **la cybersickness varie fortement d'un individu à l'autre**, ce qui rend les seuils universels inefficaces.

6. Définition des seuils personnalisés

À partir des données de calibration, le système calcule des **seuils dynamiques adaptés à l'utilisateur**.

Ces seuils peuvent être définis à partir de mesures statistiques comme :

- moyenne des mouvements
- écart type
- amplitude maximale normale

Exemples de seuils :

Seuil vitesse rotation = moyenne + écart type

Seuil accélération = moyenne + tolérance

Seuil instabilité = variance des mouvements

Ces seuils servent de référence pour détecter les anomalies de mouvement susceptibles d'indiquer l'apparition d'une cybersickness.

7. Analyse des mouvements en temps réel

Pendant l'expérience VR, le système analyse en continu les données transmises par le casque.

Le logiciel compare les mouvements actuels de l'utilisateur avec les seuils définis lors de la phase de calibration.

Exemple :

si $\text{vitesse_rotation} > \text{seuil_rotation}$

ou

si $\text{instabilité_tête} > \text{seuil_instabilité}$

alors le système détecte une anomalie de mouvement.

Plusieurs recherches ont montré que **les variations dans les mouvements de tête peuvent être utilisées pour prédire la cybersickness**

8. Détection de la cybersickness

Lorsque le système détecte une anomalie, il vérifie si celle-ci persiste pendant une durée minimale.

Par exemple :

si anomalie > 3 secondes

→ cybersickness probable

Le système calcule alors un **score d'inconfort**.

Exemple :

0 : état normal

1 : inconfort léger

2 : inconfort modéré

3 : cybersickness sévère

Les recherches montrent que les modèles utilisant les données des capteurs VR peuvent atteindre **plus de 87 % de précision pour prédire la cybersickness** en utilisant uniquement les données des capteurs du casque.

9. Adaptation dynamique de l'environnement VR

Lorsque le système détecte un inconfort, il peut modifier les paramètres de l'environnement VR afin de réduire les symptômes.

Les adaptations possibles sont :

- réduction du champ de vision
- ralentissement de la vitesse de déplacement
- réduction des rotations de caméra
- application d'un flou dynamique lors des mouvements

Ces techniques sont couramment utilisées dans la recherche VR pour réduire la cybersickness.

10. Interaction avec l'utilisateur

Si l'inconfort persiste, le système peut afficher une notification dans l'environnement VR.

Exemple :

Un inconfort a été détecté.

Souhaitez-vous :

1. Continuer l'expérience
2. Réduire l'intensité
3. Arrêter la session

Cette interaction permet à l'utilisateur de contrôler la poursuite de l'expérience.

11. Gestion des cas extrêmes

Dans les cas les plus sévères, lorsque les anomalies persistent pendant une durée critique, le système peut automatiquement interrompre la session VR afin de protéger l'utilisateur.

Par exemple :

si cybersickness sévère > 10 secondes
→ arrêt automatique de la session VR

Cette fonctionnalité constitue un mécanisme de sécurité supplémentaire.

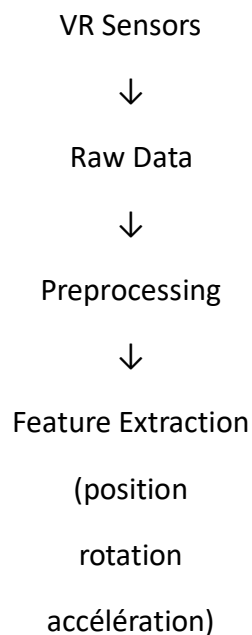
12. Valeur ajoutée de l'architecture proposée

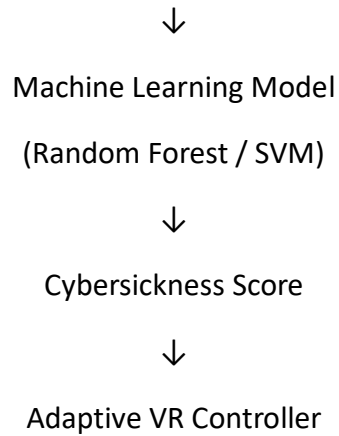
L'architecture proposée présente plusieurs avantages par rapport aux approches existantes :

- détection en temps réel
- adaptation dynamique de l'environnement VR
- personnalisation des seuils selon l'utilisateur
- absence de capteurs physiologiques externes

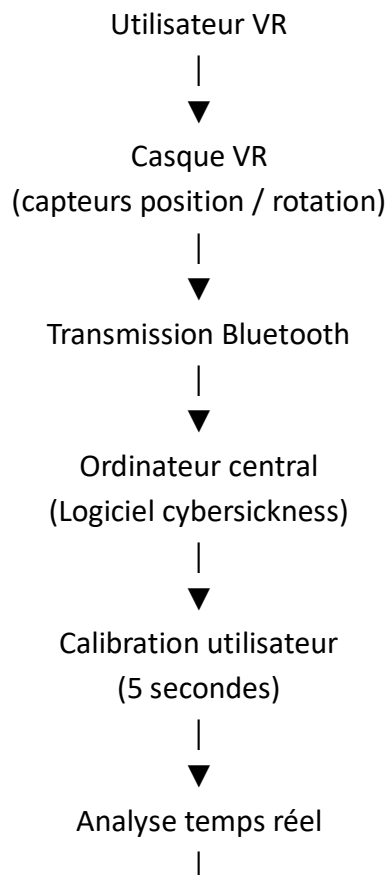
Cette approche repose uniquement sur les capteurs déjà présents dans les casques VR, ce qui la rend **facilement déployable dans les systèmes VR existants**.

Pipeline de traitement des données

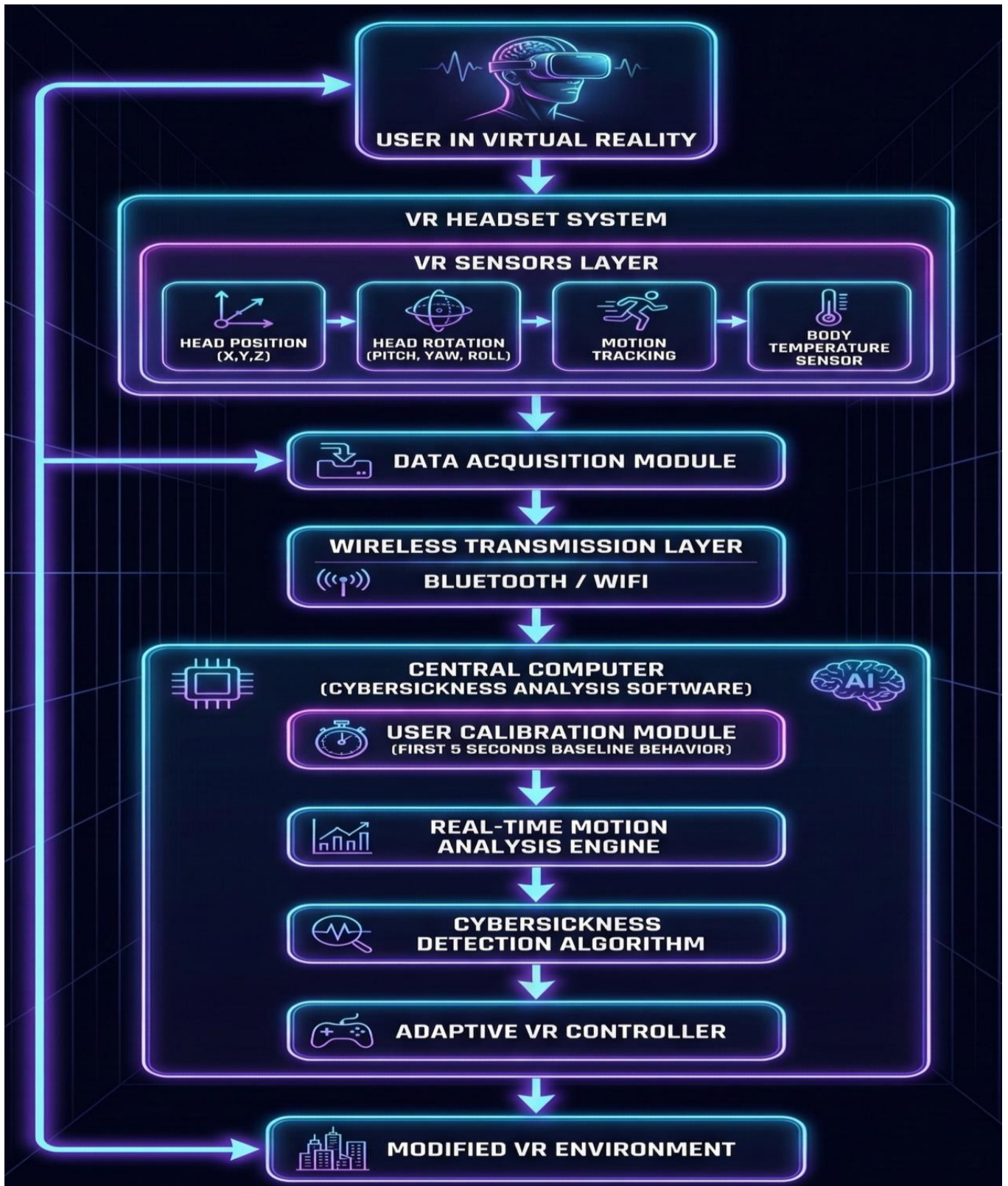




Architecture globale du système de détection de cybersickness



▼
Détection cybersickness
|
▼
Adaptation environnement VR





Sources : <https://arxiv.org/abs/2402.02725>

<https://www.researchgate.net/publication/378692034> Cybersickness Detection through Head Movement Patterns A Promising Approach

<https://www.frontiersin.org/journals/virtual-reality/articles/10.3389/frvir.2023.1307925/full>

<https://www.frontiersin.org/journals/virtual-reality/articles/10.3389/frvir.2023.1307925/full>

<https://arxiv.org/abs/2108.06437>