5

Construire un système de RV

Capture des mouvements et restitutions sensorielles

Étienne Peillard
IMT Atlantique

NOTES DE COURS

Construire un système de RV consiste à relier en temps réel la mesure, la simulation et les sorties sensorielles. Le suivi renseigne sur l'utilisateur, le logiciel met à jour le monde virtuel et les interfaces produisent les retours. La précision, les délais et la calibration déterminent la cohérence de cette boucle.

Plan du cours

Capture des mouvements

5.1

Restitutions sensorielles

5.2

NOTES DE COURS

Construire un système de RV consiste à relier en temps réel la mesure, la simulation et les sorties sensorielles. Le suivi renseigne sur l'utilisateur, le logiciel met à jour le monde virtuel et les interfaces produisent les retours. La précision, les délais et la calibration déterminent la cohérence de cette boucle.

Le cours présente la capture des mouvements, puis les dispositifs de restitution organisés par type de stimulation sensorielle.

Diapositive 3 / 56

Diapositive en ligne ↗

Partie 1 sur 2

5.1
Capture des mouvements

NOTES DE COURS

Une pose rigide a trois degrés de liberté en translation et trois degrés de liberté en rotation. Un système de suivi d'orientation à trois degrés de liberté ne peut pas déterminer une translation arbitraire de la tête. Les conventions de coordonnées diffèrent d'un système à l'autre, c'est pourquoi les noms des axes et leur caractère manuel doivent être explicites. La pose est une estimation avec incertitude, pas une mesure exacte.

Diapositive 4 / 56

Diapositive en ligne ↗

5.1 Capture des mouvements

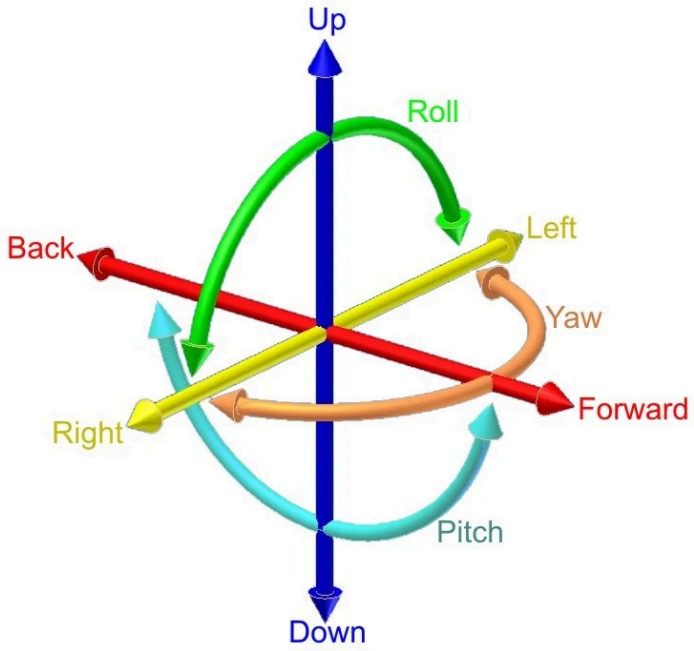
Six degrés de liberté

Translation

Gauche/droite, haut/bas, avant/arrière

Rotation

Lacet, tangage et roulis



Axes de position et d'orientation

NOTES DE COURS

Une pose rigide a trois degrés de liberté en translation et trois degrés de liberté en rotation. Un système de suivi d'orientation à trois degrés de liberté ne peut pas déterminer une translation arbitraire de la tête. Les conventions de coordonnées diffèrent d'un système à l'autre, c'est pourquoi les noms des axes et leur caractère manuel doivent être explicites. La pose est une estimation avec incertitude, pas une mesure exacte.

Suivi mécanique

Telepresence Mobile Robot (1991)



Telepresence Mobile Robot, 1991.

Lire la vidéo ↗

SPIDAR-8



Two-Handed Multi-Fingers Haptic Interface Device: SPIDAR-8

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Le suivi mécanique relie physiquement l'objet suivi à une structure articulée. Les angles mesurés aux articulations permettent de calculer la position et l'orientation par la géométrie du mécanisme. Cette liaison impose un espace de travail et des contraintes de mouvement.

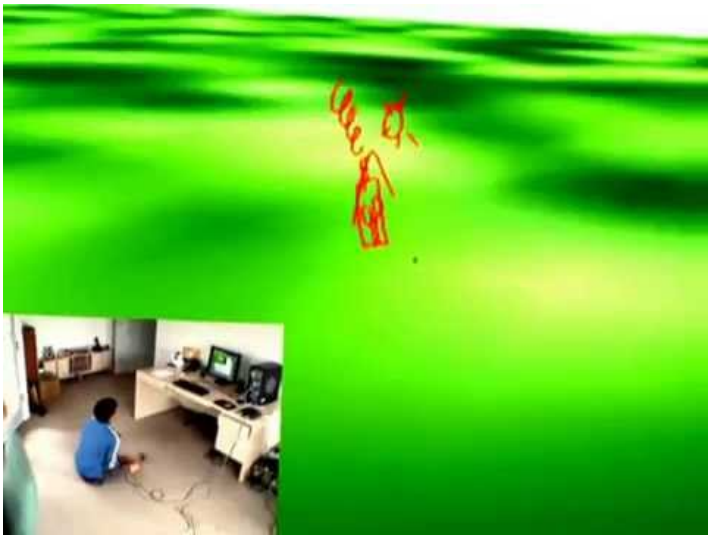
Telepresence Mobile Robot, 1991. — Scott Fisher. https://www.youtube.com/watch?v=QpTQTu7A6SI

Two-Handed Multi-Fingers Haptic Interface Device: SPIDAR-8 — Tommy. https://www.youtube.com/watch?v=m-DS1U_INpQ

Suivi électromagnétique



Polhemus FASTRAK



Virtual Reality--3D Drawing Application-Polhemus Motion Tracking Technology

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

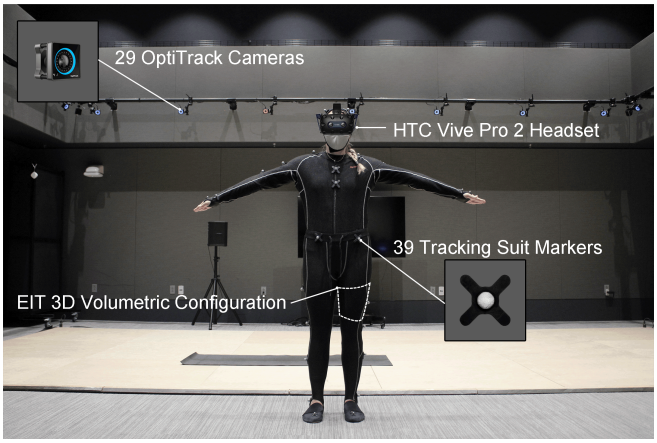
Le suivi électromagnétique estime la pose de capteurs à partir du champ généré par un émetteur. Il fonctionne sans visibilité directe entre émetteur et capteur. Les matériaux conducteurs et ferromagnétiques peuvent déformer le champ et perturber les mesures. La portée dépend du système.

La photo du FASTRAK montre le boîtier de traitement, l’émetteur et un petit capteur câblé.

Virtual Reality--3D Drawing Application-Polhemus Motion Tracking Technology — Polhemus. https://www.youtube.com/watch?v=7DlEfd0VH_o

---

Technologies de suivi actuelles



Optique: OptiTrack (MuscleRehab)



Inertiel : combinaison Xsens Link

NOTES DE COURS

Le suivi optique utilise des observations visibles ou infrarouges. Selon le dispositif, il suit des marqueurs connus, des caractéristiques de l’environnement ou des signaux lumineux. Les caméras peuvent être externes ou embarquées. La diapositive suivante distingue les agencements inside-out et outside-in.

Une centrale inertielle (IMU) regroupe typiquement des gyroscopes et des accéléromètres. Les gyroscopes mesurent la vitesse angulaire. Les accéléromètres mesurent la force spécifique, qui inclut l’effet de la gravité selon l’orientation du capteur. Une estimation de déplacement nécessite de traiter cette composante et d’intégrer les mesures. Les biais et les erreurs s’accumulent : une IMU seule ne fournit pas une position absolue sans dérive.

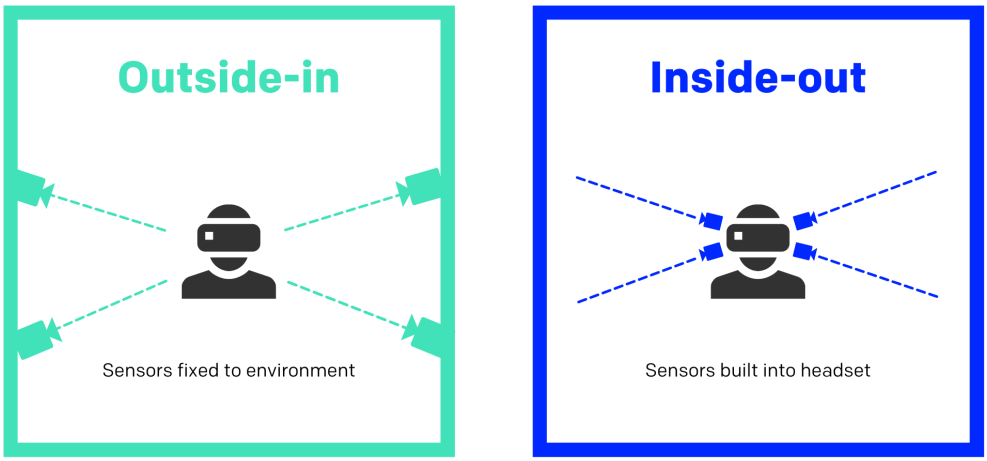
Les mesures inertielles permettent des mises à jour rapides entre les observations optiques. Les observations optiques apportent des contraintes qui limitent la dérive. La fusion de capteurs sera détaillée après les agencements de suivi.

Exemple documenté : Microsoft décrit un suivi de casque qui fusionne les observations des caméras avec les mesures à haute fréquence de l’IMU. https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/enthusiast-guide/tracking-system

À gauche, le dispositif MuscleRehab utilise des caméras OptiTrack et des marqueurs portés sur le corps pour la capture optique. Les annotations de l’image identifient les caméras et les marqueurs. La mesure musculaire EIT du projet est un dispositif distinct du suivi optique. À

droite, la combinaison Xsens Link illustre le suivi inertiel avec des capteurs portés. Sources des photos : MIT CSAIL, https://hcie.csail.mit.edu/research/musclerehab/musclerehab.html et Xsens, https://www.xsens.com/motion-capture/xsens-link-specifications

Inside-out et outside-in : principe



Outside-in : caméras externes. Inside-out : caméras embarquées.

NOTES DE COURS

Le schéma compare la position des caméras : dans l'environnement pour le suivi outside-in, sur l'appareil suivi pour le suivi inside-out. Les pointillés indiquent les directions d'observation. Les photos de la diapositive suivante illustrent ces deux dispositions avec un Quest et une caméra Rift CV1.

Schéma original : https://thewild.com/blog/architect-getting-started-with-vr

Suivi inside-out et outside-in

Disposition	Observations	Limite typique
Inside-out	Capteurs portés par l'appareil suivi	Nécessite des observations environnementales utilisables

Disposition	Observations	Limite typique
Outside-in	Des capteurs externes observent les objets suivis	Nécessite une couverture et une ligne de vue



Inside-out : caméras sur le casque (Quest)



Outside-in : caméra dans la pièce (Rift CV1)

NOTES DE COURS

Ces termes concernent l’agencement de la détection. Inside-out utilise généralement des caméras et des capteurs inertiels sur le casque. L’extérieur-intérieur peut utiliser des caméras externes ou d’autres infrastructures. Des arrangements hybrides existent. Aucun des deux termes ne précise à lui seul la précision, la latence ou ce qui se passe lors d'une occlusion.

Photos : à gauche, les quatre caméras embarquées du Quest sont entourées en violet (vrCAVE Operation Guide). À droite, une caméra externe du Rift CV1 observe les marqueurs infrarouges du casque et des contrôleurs (photo : Evan-Amos, domaine public).

Fusion de capteurs

Des changements locaux rapides

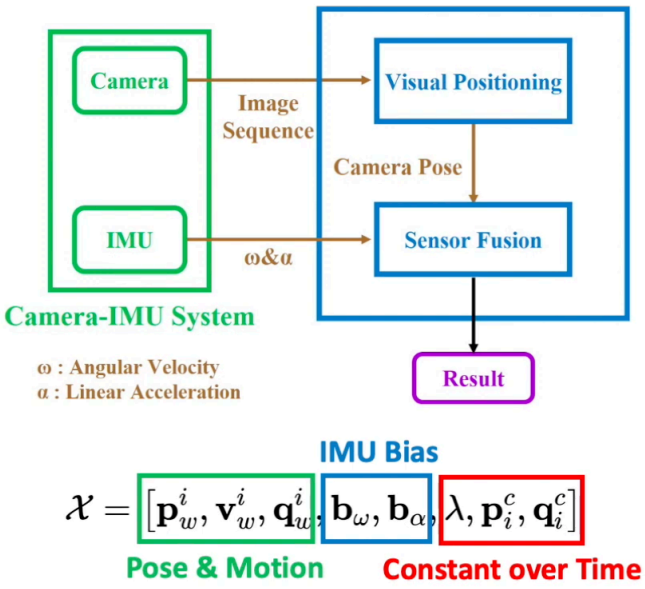
Mesures inertielles

Référence externe

Observations optiques ou autres

Estimation combinée

Pose avec dérive réduite



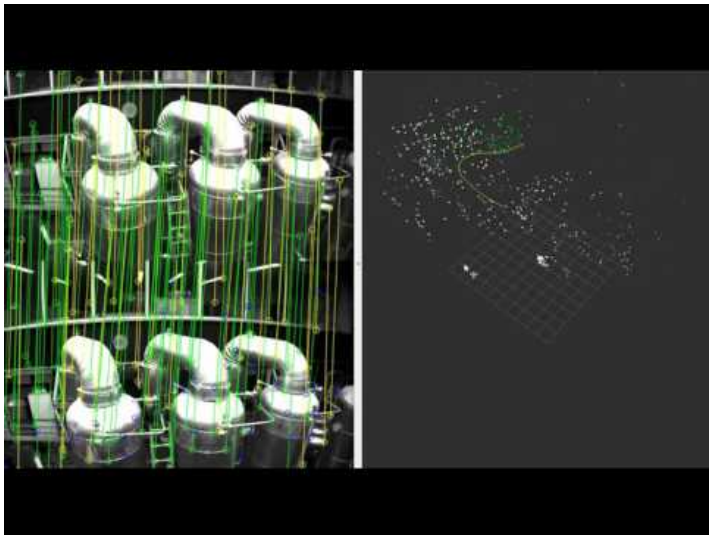
Exemple de fusion caméra–IMU

NOTES DE COURS

La fusion de capteurs combine des mesures aux propriétés complémentaires. Les capteurs inertiels suivent les changements rapides ; les observations d'un repère externe peuvent limiter la dérive accumulée. L'estimation doit tenir compte des capteurs, de leurs incertitudes et du mouvement suivi. Il n'existe pas d'équivalence simple entre un organe sensoriel humain et un capteur technique.

Le schéma illustre un exemple de fusion caméra–IMU : le positionnement visuel et les mesures inertielles alimentent une estimation commune. Les détails du vecteur d'état appartiennent à la méthode présentée par les auteurs. Illustration : https://kuan-wei-tseng.github.io/images/complementary.png

Fusion de capteurs : OKVIS



OKVIS: Open Keyframe-based Visual-Inertial SLAM

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

OKVIS: Open Keyframe-based Visual-Inertial SLAM — Stefan Leutenegger.
https://www.youtube.com/watch?v=TbKEPA2_-m4

Qualité du suivi

Précision

Proximité avec la pose de référence

Gigue

Variation rapide autour d’une estimation

Dérive

Accumulation de déplacements au fil du temps

Perte et récupération

Comportement lorsque les observations disparaissent

NOTES DE COURS

Différentes erreurs de suivi créent différents problèmes visibles par l'utilisateur. Un décalage fixe diffère d’une secousse à haute fréquence ou d’une dérive qui s’accumule lentement. La perte de suivi nécessite une réponse explicite de l'application, en particulier lorsque vous tenez un objet ou que vous le déplacez. Testez dans des conditions réalistes d’éclairage, d’espace de travail et d’occlusion corporelle.

Les contrôleurs

Half-Life: Alyx



Valve Index



Half-Life: Alyx

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

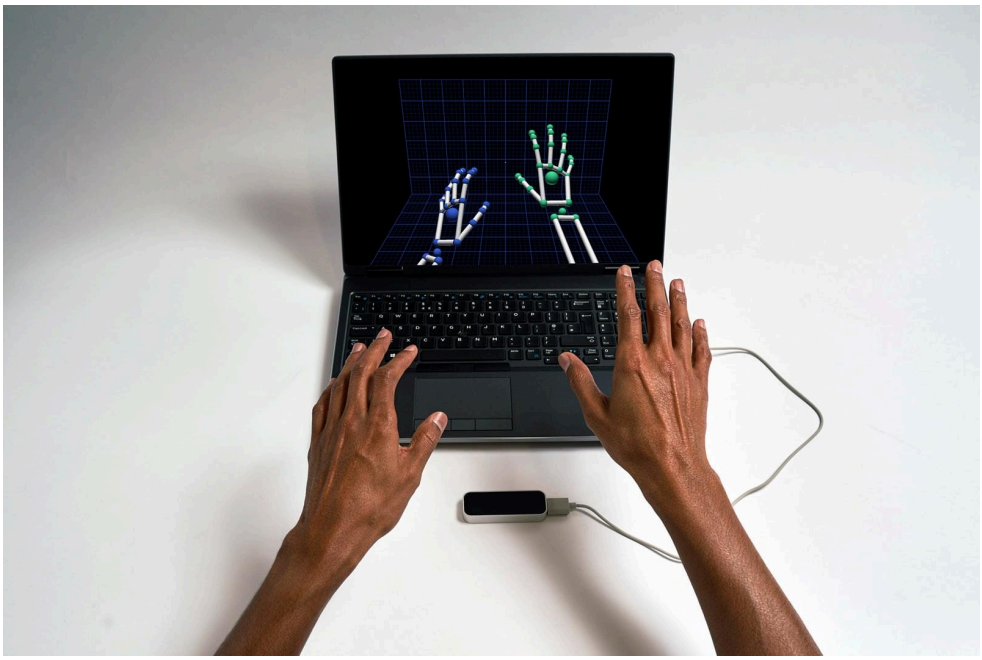
Le contrôleur est un objet rigide suivi. Sa pose décrit sa position et son orientation, pas la configuration de tous les doigts. Les boutons, gâchettes et joysticks constituent des entrées distinctes de la pose.

Une pression peut confirmer une sélection, tandis que le mouvement du contrôleur déplace l'objet saisi. Les vibrations peuvent signaler un contact sans imposer une résistance mécanique. Selon la technologie et la position du contrôleur, une occlusion ou une sortie du volume de suivi peut dégrader la pose. Le suivi ne garantit pas à lui seul une interaction utilisable.

Illustration : https://store.steampowered.com/app/1059550/Valve_Index_Controllers/
Démonstration : https://docs.ultraleap.com/ultralab/vr-gaming-controllers-and-hands.html

Le suivi des mains

Silhouette · Ultraleap



Leap Motion



Silhouette · Ultraleap

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Le suivi des mains reconstruit un squelette articulé à partir d'observations. L'estimation d'une articulation peut devenir incertaine si elle est masquée par un autre doigt, l'autre main ou un objet. Les mains doivent rester dans la zone observable par les caméras.

Le geste de pince est un exemple de commande : rapprocher le pouce et l'index peut déclencher une sélection ou une saisie. Il faut distinguer la pose estimée de la main, la reconnaissance du geste et l'action que l'application lui associe.

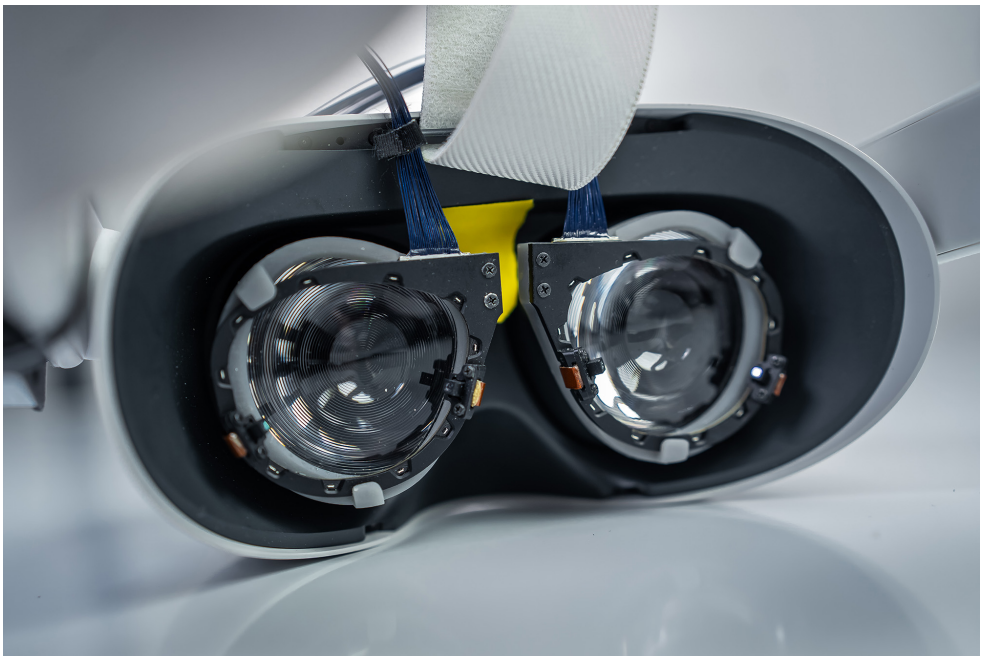
L'illustration montre un capteur Leap Motion et les articulations estimées à l'écran. La vidéo Silhouette montre une interaction par les mains et leurs ombres, présentée dans la documentation Ultraleap. Le suivi optique seul ne fournit pas de résistance mécanique.

Illustration : https://documentation.ls-group.fr/interact/LeapMotion/ Démonstration : https://docs.ultraleap.com/ultralab/vr-gaming-controllers-and-hands.html

---

Le suivi oculaire

Tobii VR Integration Demo



Tobii



Tobii VR Integration Demo

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Le pointage par la tête (head-gaze) utilise l'orientation du casque. Il constitue une approximation de la direction regardée : les yeux peuvent se déplacer sans que la tête bouge. Le suivi oculaire (eye tracking) utilise des capteurs dédiés pour estimer la direction du regard.

Le suivi oculaire peut nécessiter une calibration propre à l'utilisateur. La précision et la disponibilité des mesures dépendent du dispositif et des conditions d'utilisation. Une direction de regard ne constitue ni une preuve d'attention ni une intention explicite de sélection.

Le modèle gaze-and-commit distingue le ciblage de la confirmation. Un bouton, un geste de pince ou une durée de fixation peuvent confirmer une action. Une validation séparée permet d'explorer visuellement la scène sans déclencher une action à chaque regard.

Références : Microsoft Learn, Eye tracking overview, https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/design/eye-tracking et Eye-gaze-based interaction, https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/design/eye-gaze-interaction

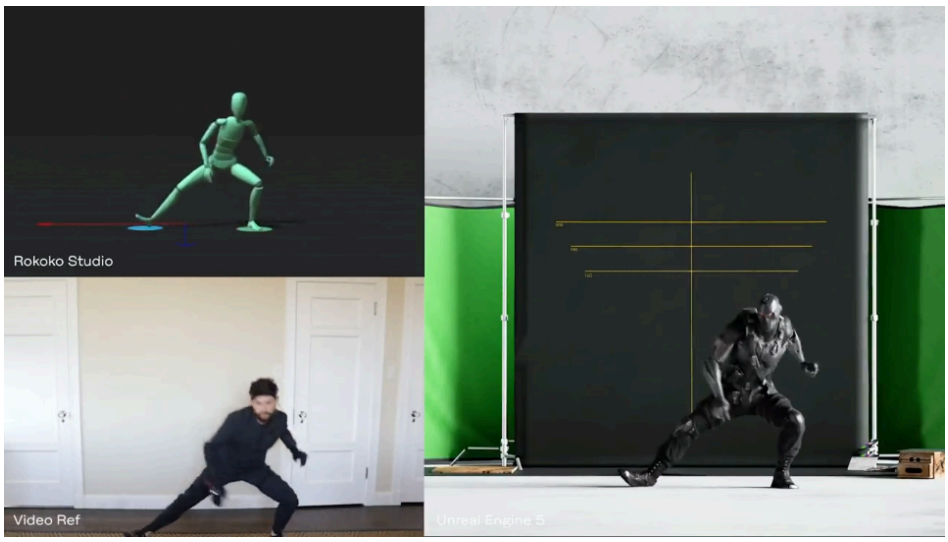
Illustration : https://www.tobii.com/resource-center/learn-articles/how-do-eye-trackers-work
Démonstration : https://video.tobii.com/tobii-vr-integration-demo

Le suivi du corps

Rokoko · Smartsuit Pro II



Smartsuit Pro II



Smartsuit Pro II · Rokoko Studio / Unreal Engine

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Le suivi corporel peut utiliser des caméras, des marqueurs optiques ou des capteurs portés. Le nombre et l'emplacement des observations déterminent quels segments sont renseignés. Tous les segments visibles sur l'avatar ne sont pas nécessairement mesurés.

La cinématique inverse permet de déduire une posture compatible avec des points suivis et un modèle de squelette. Si seules la tête et les mains sont suivies, plusieurs configurations des coudes ou du reste du corps peuvent correspondre aux mêmes observations. La reconstruction utilise donc des contraintes et des hypothèses.

Un décalage entre les mouvements réels et ceux de l'avatar peut perturber la coordination et l'expérience corporelle. Il faut distinguer les mesures disponibles des segments reconstruits et adapter le niveau de détail de l'avatar à la qualité du suivi. Le cours revient sur cette correspondance dans la partie sur l'animation des avatars.

Illustration et vidéo : Rokoko Smartsuit Pro II. La démonstration compare la personne filmée, le squelette dans Rokoko Studio et le personnage dans Unreal Engine. Source : https://www.rokoko.com/products/smartsuit-pro

5.2

Restitutions sensorielles

NOTES DE COURS

La partie suit sept types de stimulation : vision, audition, haptique, proprioception, vestibulaire, olfaction et goût. Chaque bloc commence par l’effet recherché, présente les familles de dispositifs, puis rassemble leurs exemples. La réalité augmentée appartient au bloc visuel. Les flux d’air qui stimulent la peau appartiennent au bloc haptique.

Ces catégories structurent la présentation par effet recherché. Elles ne sont pas des canaux indépendants : marcher sollicite aussi le toucher, le système vestibulaire et la vision. Un même dispositif peut intervenir dans plusieurs expériences sensorielles.

Stimulation visuelle

Faire percevoir une scène, sa profondeur et ses changements de point de vue

NOTES DE COURS

Ces catégories structurent la présentation par effet recherché. Elles ne sont pas des canaux indépendants : marcher sollicite aussi le toucher, le système vestibulaire et la vision. Un même dispositif peut intervenir dans plusieurs expériences sensorielles.

Les familles d’affichage visuel

Visiocasques

Un affichage porté devant les yeux

Projection et écrans

Une surface physique partagée ou entourant l’utilisateur

Réalité augmentée

Le monde réel reste visible avec du contenu ajouté

NOTES DE COURS

L’expérience visuelle d’un casque dépend de l’optique, du champ de vision, de la résolution, de la synchronisation des images et de l’ajustement. L'immersion visuelle est l'exemple dominant dans ce cours, tandis que les applications immersives peuvent également se concentrer sur d'autres sens. Les catégories d'appareils ne déterminent pas à elles seules le confort ou la présence. Vérifiez ce que l’optique et l’affichage présentent réellement à chaque œil.

Visiocasque : FlyVIZ



FlyVIZ : un casque qui permet de voir à 360°

Lire la vidéo ↗

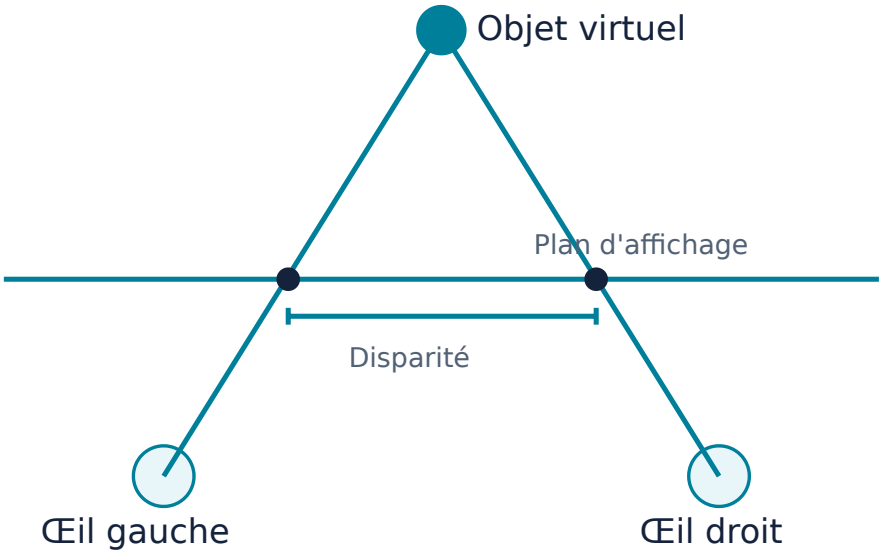
NOTES DE COURS

Le dispositif de visualisation détermine quels mouvements modifient la perspective affichée et comment l'observateur relie l'image à l'espace environnant. Un écran fixe, une surface de projection et un casque imposent des relations différentes entre la position de la tête et la formation de l'image. Le suivi et la calibration permettent de maintenir la cohérence du résultat visuel pendant les mouvements.

FlyVIZ : un casque qui permet de voir à 360° — ESIEA. https://www.youtube.com/watch?v=HqZLOdtaCHo

FlyVIZ est un exemple de vision médiatisée : une scène captée à 360° est restituée dans un visiocasque. Il ne représente pas tous les casques immersifs.

Projection immersive : une CAVE





Beck et coll. (IEEE VR 2013)

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Les systèmes de projection nécessitent une géométrie calibrée et un rendu dépendant du point de vue. Plusieurs personnes peuvent occuper la pièce, mais une paire d'images stéréo partagées n'est géométriquement correcte que pour le point de vue suivi prévu. Les systèmes multi-vues peuvent résoudre certaines contraintes avec une complexité supplémentaire. Le corps physique visible et l’accès aux accessoires peuvent être utiles.

La RV ne se limite pas aux casques. Les salles de projection immersives, comme les CAVE, occupent une place importante dans son histoire et restent pertinentes pour certaines tâches. Le choix dépend de l’activité, des personnes qui doivent y participer et de la manière dont elles doivent observer ou collaborer.

Un environnement projectif peut permettre à plusieurs personnes de rester côte à côte et à des observateurs de voir directement ce qui est présenté. Avec un casque, l’entourage n’a pas directement accès à la vue du porteur ; il faut prévoir un retour sur un autre écran pour la partager. Partager une salle de projection ne garantit toutefois pas à chaque personne une perspective suivie individuellement.

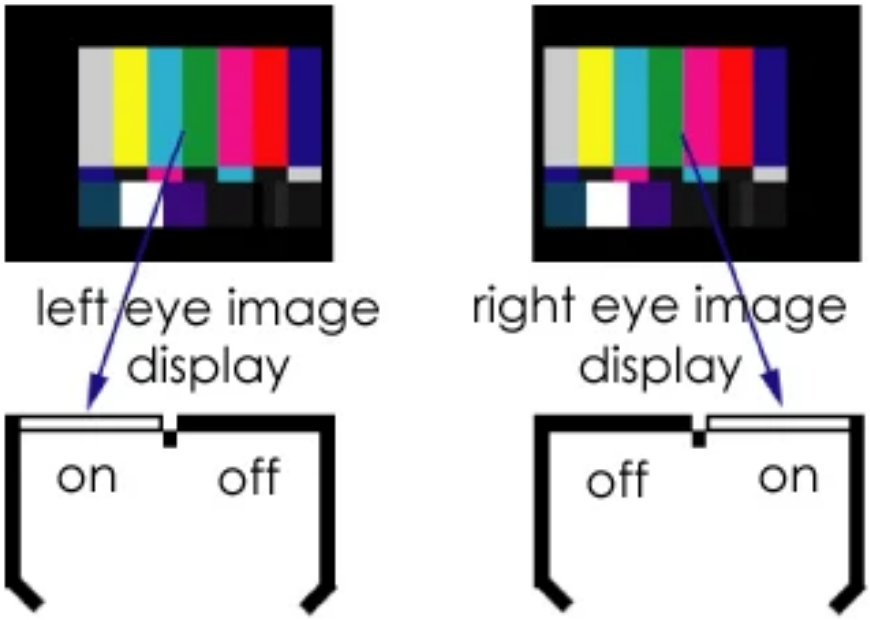
À l’oral, la différence d’échelle matérielle est illustrée par le coût et l’installation : un casque est un équipement individuel, tandis qu’un CAVE peut demander une salle, une infrastructure et parfois des travaux de bâtiment importants. L’exemple de systèmes autour desquels le bâtiment a été construit souligne cette contrainte d’intégration. Il faut retenir ce changement d’échelle plutôt qu’un tarif universel.

Le confort, la collaboration et l’efficacité pour la tâche peuvent justifier une salle de projection. Le suivi doit adapter les images à la position de l’observateur ; les différences techniques entre ces dispositifs seront détaillées plus tard.

Un rendu stéréo correct nécessite plus que le décalage de deux images. L'emplacement des yeux et la géométrie de l'affichage déterminent les projections. Un affichage CAVE ou de bureau nécessite un rendu hors axe lorsque l'observateur se déplace. Les deux vues oculaires doivent rester cohérentes avec l’échelle mondiale et la distance interoculaire calibrée du participant.

La collaboration à distance dépend des informations rendues disponibles sur les autres. Les avatars simplifiés de Fleury et ses collègues communiquent la position et l’action dans un environnement partagé. La téléprésence de groupe de Beck et ses collègues utilise des représentations associées à la vidéo tridimensionnelle et des outils collaboratifs. Ces agencements rendent visibles des aspects différents de la posture, de l’expression et de l’activité ; apparence et coordination constituent des questions liées mais distinctes.

Stéréo active : lunettes à obturateurs



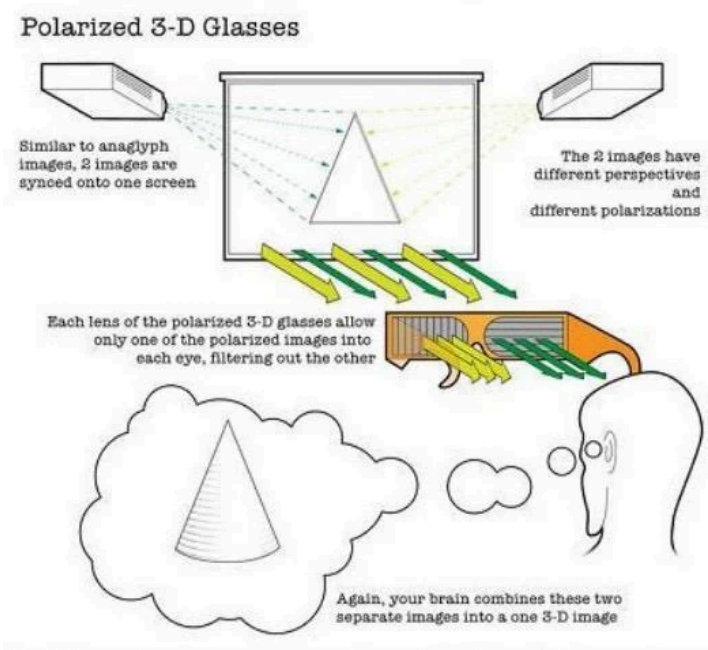
Alternance des vues gauche et droite, synchronisée avec les lunettes

NOTES DE COURS

Les lunettes actives ouvrent alternativement l’obturateur gauche et l’obturateur droit. L’écran affiche la vue correspondante au même instant. Le schéma montre les deux phases de cette alternance.

L’affichage et les lunettes doivent rester synchronisés. La méthode de séparation temporelle ne détermine pas à elle seule le calcul des deux points de vue.

Stéréo passive : polarisation



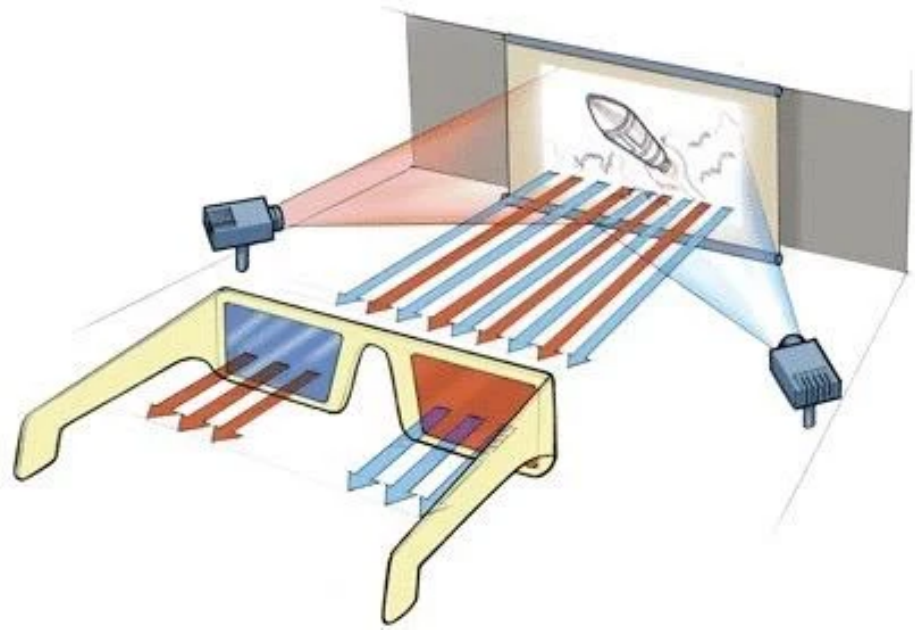
Deux polarisations, une vue pour chaque œil

NOTES DE COURS

Deux images de polarisations différentes se superposent sur l’écran. Chaque verre filtre la lumière afin de transmettre principalement la vue destinée à l’œil correspondant.

Le schéma illustre une projection à deux canaux polarisés. Les lunettes sont passives. La conservation de la polarisation par l’écran et la compatibilité des filtres conditionnent la séparation des vues.

Stéréo par anaglyphes



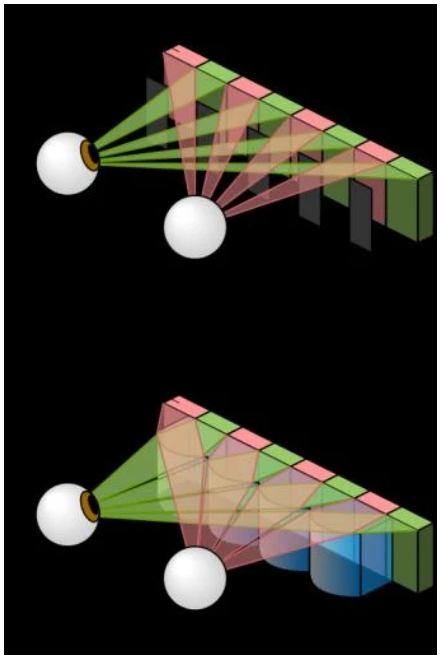
Séparation des vues par filtres colorés

NOTES DE COURS

Les deux vues utilisent des canaux de couleur différents. Les filtres colorés des lunettes séparent les images destinées aux deux yeux.

Le schéma montre le principe de filtrage chromatique. La séparation dépend du choix des couleurs et des filtres, et modifie la restitution des couleurs de la scène.

Affichage autostéréoscopique



Des vues dirigées vers chaque œil, sans lunettes

NOTES DE COURS

L’écran dirige des vues différentes vers les deux yeux sans lunettes. Le schéma montre une barrière de parallaxe en haut et un réseau lenticulaire en bas.

Les deux yeux doivent se trouver dans des zones de visualisation adaptées. Le nombre de vues et la liberté de mouvement dépendent du dispositif. La séparation directionnelle des vues reste distincte du calcul de leur géométrie.

Projection multi-utilisateurs : C1x6



Recherche sur l'affichage multi-stéréoscopique

Lire la vidéo ↗

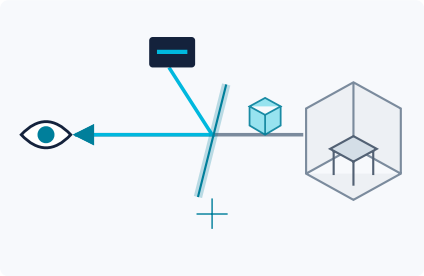
NOTES DE COURS

Une seule paire stéréo partagée a une géométrie de visualisation prévue. Les systèmes multi-visualiseurs ajoutent des moyens de séparer plusieurs ensembles de vues. La démonstration illustre un arrangement spécialisé ; le nombre de vues disponibles, la luminosité et la résolution temporelle dépendent de la mise en œuvre. Cela explique pourquoi le simple fait d’ajouter une autre personne suivie ne suffit pas.

Techniques de réalité augmentée

Optical see-through

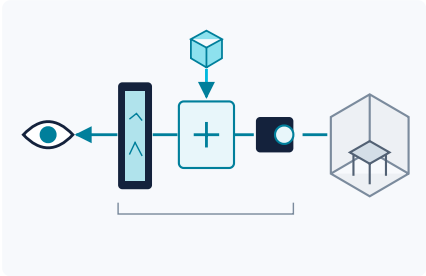
Vision optique directe



Lumière du réel + contenu virtuel ajouté optiquement

Video see-through

Vision par retour vidéo



Caméra → composition → écran → œil

Handheld display

Téléphone ou tablette



L’écran devient une fenêtre sur la scène augmentée

NOTES DE COURS

Lire les schémas de la scène physique vers l’œil. Le gris représente la scène réelle ; le cyan représente le contenu virtuel et son trajet d’affichage. Chaque illustration montre une disposition de visualisation différente.

Optical see-through : la lumière de l’environnement réel traverse une optique transparente jusqu’à l’œil. Un système de projection ajoute les images virtuelles à ce trajet optique. Le monde physique reste directement visible à travers l’optique.

Video see-through : des caméras filment la scène physique. Leurs images sont combinées au contenu généré par ordinateur, puis le résultat est présenté sur un écran. L’œil voit l’image vidéo affichée au lieu de regarder à travers un trajet optique transparent.

Handheld display : un téléphone ou une tablette filme la scène avec sa caméra et affiche le résultat augmenté sur son écran. L’utilisateur regarde cet écran tout en gardant le monde physique visible autour de l’appareil. Il s’agit d’un format de dispositif, généralement fondé sur le retour vidéo, plutôt que d’un troisième principe optique indépendant. Les affichages portés sur la tête peuvent utiliser la vision optique directe ou le retour vidéo.

Réalité augmentée : exemples

Vision optique directe : HoloLens



Archives HoloLens

Lire la vidéo ↗

Téléphone : ARKit



Démonstration ARKit

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

HoloLens illustre l'augmentation par transparence optique : la scène physique reste visible à travers les optiques et une image virtuelle s'y ajoute. La question est de savoir comment ce contenu est positionné et actualisé par rapport aux surfaces et à l'observateur en mouvement. L'alignement, la visibilité et la correspondance entre geste et réponse déterminent son usage dans l'activité.

Le contraste avec l'exemple précédent porte sur la cohérence spatiale : les éléments virtuels sont placés en relation avec ce que la personne voit dans le monde réel, et cette relation permet des interactions situées. La vidéo est promotionnelle ; son cadrage ne suffit pas à décrire le champ de vision effectivement offert dans le dispositif.

ARKit illustre l'augmentation à travers la caméra d'un dispositif tenu en main. Le système estime les mouvements du dispositif et la relation entre le contenu virtuel et la scène filmée. L'écran combine l'image de la caméra et les objets calculés, tandis que l'espace physique reste directement visible autour. Maintenir le recalage pendant les mouvements est essentiel pour situer l'objet dans la pièce.

À l'oral, cet exemple rappelle surtout une difficulté technique : faire correspondre l'environnement physique observé par le système et les objets calculés. Les outils de développement rendent cette opération accessible sur des appareils mobiles. Il faut retenir le problème du recalage et du maintien de cette correspondance pendant le mouvement.

Stimulation auditive

Faire entendre des événements et localiser leurs sources dans l’espace

NOTES DE COURS

Ces catégories structurent la présentation par effet recherché. Elles ne sont pas des canaux indépendants : marcher sollicite aussi le toucher, le système vestibulaire et la vision. Un même dispositif peut intervenir dans plusieurs expériences sensorielles.

Les familles de restitution sonore

Casque audio

Rendu binaural destiné aux deux oreilles

Haut-parleurs

Sources physiques et réseaux de restitution spatiale

NOTES DE COURS

Le rendu audio spatial calcule la relation entre les sources sonores et l’auditeur. Un son fixé dans le monde change par rapport aux oreilles lorsque la tête tourne, tout en restant associé à sa position dans la scène. Le casque audio et les réseaux de haut-parleurs demandent des méthodes de spatialisation et de calibration différentes. La parole, les événements et le guidage peuvent recevoir des priorités de mixage différentes pour rester audibles et compréhensibles.

Son 3D : démonstration

À écouter au casque · activer le son



3-D Audio Demo

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

3-D Audio Demo — Microsoft Research. https://www.youtube.com/watch?v=wtFgLi6XKrY

Diapositive 32 / 56

Diapositive en ligne ↗

5.2 Restitutions sensorielles · Toucher et efforts

Stimulation haptique

Faire sentir les contacts, les vibrations et la résistance des objets

NOTES DE COURS

Ces catégories structurent la présentation par effet recherché. Elles ne sont pas des canaux indépendants : marcher sollicite aussi le toucher, le système vestibulaire et la vision. Un même dispositif peut intervenir dans plusieurs expériences sensorielles.

Diapositive 33 / 56

Diapositive en ligne ↗

5.2 Restitutions sensorielles · Toucher et efforts

Les familles de restitution haptique

Retour cutané

Vibrations, pression et stimulation de la peau

Retour kinesthésique

Forces et résistance appliquées au mouvement

NOTES DE COURS

Les interfaces tactiles stimulent les sensations liées à la peau. Les exemples comprennent des vibrations, une stimulation distribuée et une démonstration aérienne. Ces exemples diffèrent par ce qu'ils peuvent reproduire. Une brève vibration peut signaler un contact sans contraindre physiquement le mouvement. La relation temporelle et spatiale à l’événement visible compte toujours.

Une interface de retour de force peut à la fois mesurer le mouvement et appliquer des forces. Les dispositifs comprennent des bras articulés, des systèmes de câbles et des exosquelettes. L'espace de travail, la plage de force, la rétroconduite et le contrôle stable limitent l'interaction. Le retour de force nécessite un mécanisme physique ; elle diffère d'une impression pseudo-haptique produite par une manipulation visuelle.

Retour cutané avec contact

Manette vibrante : Joy-Con



1-2-Switch — Ball Count (Nintendo)

Lire la vidéo ↗

Gilet vibrant : bHaptics



bHaptics Tactsuit X40&X16 Overview

Lire la vidéo ↗

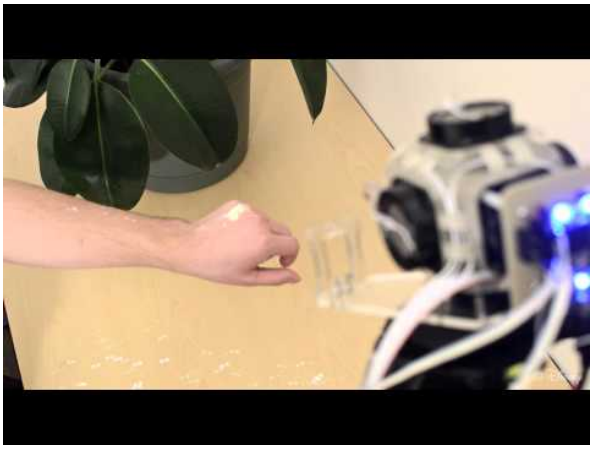
NOTES DE COURS

Ces deux exemples utilisent des actionneurs en contact avec le corps pour transmettre des vibrations à la peau. Dans Ball Count de 1-2-Switch, les vibrations HD des Joy-Con donnent l'impression que des billes roulent dans la manette. Le gilet TactSuit distribue les vibrations sur le torse pour signaler des événements du jeu.

Ces vibrations constituent un retour cutané. Elles peuvent évoquer un choc ou un contact, sans imposer au mouvement de la main la résistance d'un objet solide. L'exemple Joy-Con illustre un principe de stimulation également utilisé par les contrôleurs de RV.

Retour cutané sans contact

Jets d’air : AIREAL



AIREAL: Interactive Tactile Experiences in Free Air

Lire la vidéo ↗

Ultrasons : Touchable Holography



Touchable Holography

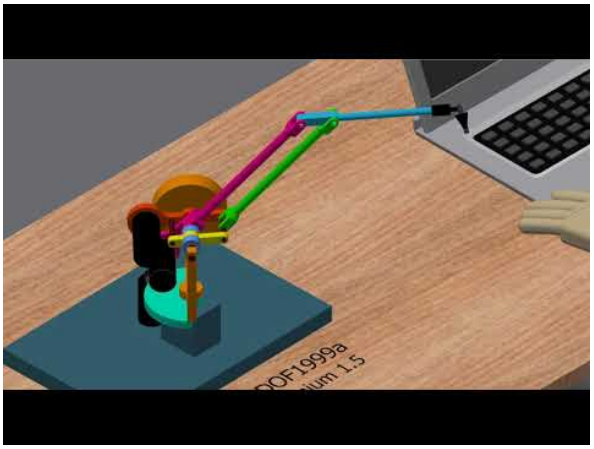
Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

AIREAL stimule la peau avec des vortex d’air. Touchable Holography utilise un dispositif ultrasonore pour produire des sensations tactiles sans contact direct.

Bras à retour d’effort

Stylet : PHANTOM Premium 1.5



Sensable3DOF1999a (Phantom Premium 1.5)

Lire la vidéo ↗

Bras : Haption Virtuose 6D



Virtuose 6D — HAPTION

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Un bras articulé motorisé mesure la pose de son extrémité et applique un effort à la main par un stylet ou une poignée. La commande peut ainsi restituer une résistance lors du contact avec une surface virtuelle. Le dispositif est fixé à un support qui reprend les efforts.

La vidéo PHANTOM Premium 1.5, issue du projet Haptipedia, montre un dispositif de bureau à stylet. La vidéo de Haption présente le Virtuose 6D, qui restitue des forces et des couples sur six degrés de liberté. Ne pas confondre les degrés de liberté mesurés avec ceux sur lesquels un dispositif peut produire un effort.

Retour d’effort : exemples

Câbles : SPIDAR-8



Two-Handed Multi-Fingers Haptic Interface Device: SPIDAR-8

Lire la vidéo ↗

Gants : SenseGlove Nova 2



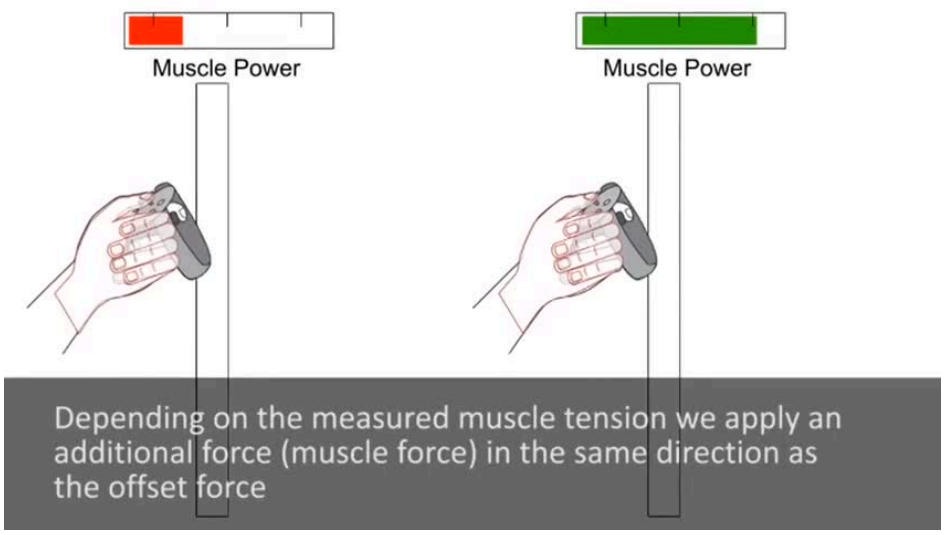
Nova 2 in Action: Seamless Compatibility with the Most Popular XR Headsets

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Une interface de retour de force peut à la fois mesurer le mouvement et appliquer des forces. Les dispositifs comprennent des bras articulés, des systèmes de câbles et des exosquelettes. L'espace de travail, la plage de force, la rétroconduite et le contrôle stable limitent l'interaction. Le retour de force nécessite un mécanisme physique ; elle diffère d'une impression pseudo-haptique produite par une manipulation visuelle.

Assistance à l’effort selon l’activité musculaire



Assistance à l’effort selon l’activité musculaire

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

L’animation illustre une force supplémentaire appliquée dans le sens de l’effort de l’utilisateur en fonction de la tension musculaire mesurée. Il s’agit d’une assistance physique active : un mécanisme exerce une force réelle. Un effet pseudo-haptique modifie plutôt le retour visuel pour influencer la relation perçue entre l’effort et le résultat. Ces approches peuvent modifier l’expérience de l’effort, mais par des moyens différents.

Diapositive 39 / 56

Diapositive en ligne ↗

5.2 Restitutions sensorielles · Posture et mouvement

Stimulation proprioceptive

Faire ressentir la position et le mouvement de son propre corps

NOTES DE COURS

Ces catégories structurent la présentation par effet recherché. Elles ne sont pas des canaux indépendants : marcher sollicite aussi le toucher, le système vestibulaire et la vision. Un même dispositif peut intervenir dans plusieurs expériences sensorielles.

Diapositive 40 / 56

Diapositive en ligne ↗

5.2 Restitutions sensorielles · Posture et mouvement

Les familles d’interfaces de mouvement

Marche active

Tapis, surfaces mobiles et dispositifs sphériques

Mouvement accompagné

Appuis et mécanismes qui guident le corps

NOTES DE COURS

Les interfaces de locomotion comprennent des plates-formes mobiles, des systèmes de tapis roulant, une sphère de locomotion et des mécanismes de support redirigé. Ce sont différentes stratégies d’ingénierie. Aucune plate-forme finie ne peut reproduire l’accélération soutenue d’un voyage arbitraire. Le cours de navigation examine comment chaque appareil relie l'action corporelle au déplacement virtuel.

Ces catégories structurent la présentation par effet recherché. Elles ne sont pas des canaux indépendants : marcher sollicite aussi le toucher, le système vestibulaire et la vision. Un même dispositif peut intervenir dans plusieurs expériences sensorielles.

Surface de marche mobile



Surface de marche mobile

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Comparez la surface mobile, l’enceinte sphérique et la géométrie du support mobile. Identifiez contre quoi le participant se déplace réellement et comment le système le ramène vers une position physique utilisable. Chaque mécanisme modifie la relation entre la démarche et le déplacement virtuel.

Interface de locomotion sphérique



Interface de locomotion sphérique

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Comparez la surface mobile, l’enceinte sphérique et la géométrie du support mobile. Identifiez contre quoi le participant se déplace réellement et comment le système le ramène vers une position physique utilisable. Chaque mécanisme modifie la relation entre la démarche et le déplacement virtuel.

Surface d'appui mobile



Surface d'appui mobile

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Comparez la surface mobile, l’enceinte sphérique et la géométrie du support mobile. Identifiez contre quoi le participant se déplace réellement et comment le système le ramène vers une position physique utilisable. Chaque mécanisme modifie la relation entre la démarche et le déplacement virtuel.

Diapositive 44 / 56

Diapositive en ligne ↗

5.2 Restitutions sensorielles · Équilibre

Stimulation vestibulaire

Susciter une sensation d’accélération ou de bascule

NOTES DE COURS

Ces catégories structurent la présentation par effet recherché. Elles ne sont pas des canaux indépendants : marcher sollicite aussi le toucher, le système vestibulaire et la vision. Un même dispositif peut intervenir dans plusieurs expériences sensorielles.

Diapositive 45 / 56

Diapositive en ligne ↗

5.2 Restitutions sensorielles · Équilibre

Les familles de stimulation vestibulaire

Mouvement physique

Plateformes qui accélèrent ou inclinent le participant

Stimulation galvanique

Interfaces électriques étudiées en recherche

NOTES DE COURS

Une plate-forme de mouvement modifie mécaniquement l’accélération corporelle. La stimulation vestibulaire galvanique utilise le courant électrique pour influencer les signaux vestibulaires et fait l'objet de recherches spécialisées. Les effets dépendent de l'appareil, de l'exposition et du protocole expérimental. Ce sujet de recherche n’établit pas de bénéfice général en matière de confort ni de mise en œuvre adaptée en classe.

Plateforme de mouvement : simulateur de vol



Exemples de recherche sur les plateformes de mouvement et la stimulation vestibulaire

NOTES DE COURS

Les plateformes de mouvement combinent scène visuelle, commandes et déplacement physique. Les translations et rotations disponibles dépendent du mécanisme. Leur espace de travail étant fini, elles ne peuvent pas reproduire un trajet prolongé en continuant indéfiniment dans la même direction. Le rendu du mouvement doit donc relier des déplacements physiques bornés à la trajectoire simulée, tandis que le rendu visuel suit le point de vue prévu.

Plateformes de mouvement : siège et hexapode

Siège : Motion Platform V3



Next Level Racing Motion Platform V3

Lire la vidéo ↗

Hexapode : PS-6TL-250



Patron VT Presentation ENG

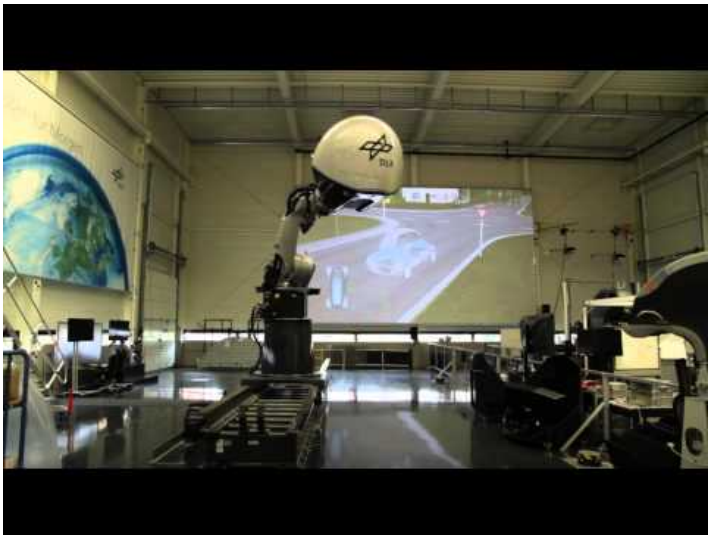
Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Le Motion Platform V3 de Next Level Racing met le siège en mouvement pour accompagner une simulation de conduite ou de vol. La seconde vidéo montre PatronVT, un simulateur de conduite de poids lourds et de bus utilisant la plateforme hexapode PS-6TL-250 de Motion Systems.

Ces exemples distinguent le déplacement du siège et celui d’un ensemble monté sur une plateforme à six degrés de liberté. Le mouvement physique fournit des indices d’accélération et d’inclinaison, coordonnés avec l’image. La course des actionneurs et l’espace de travail limitent les mouvements réalisables.

Plateforme robotisée : simulateur du DLR



DLR Robotic Motion Simulator - Driving Simulation

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Le DLR Robotic Motion Simulator utilise un bras robotisé industriel portant une cabine. La vidéo du DLR montre une simulation de conduite du RoboMobil et le mouvement physique de la cabine. Cette architecture série constitue une autre solution que la plateforme hexapode à vérins.

La cabine met en mouvement le participant pour fournir des indices inertiels en relation avec la scène visuelle. Cet exemple relève de la stimulation vestibulaire par mouvement physique. Il se distingue des bras à retour d’effort manipulés à la main présentés dans le bloc haptique.

Stimulation vestibulaire galvanique



Omnidirectional Galvanic Vestibular Stimulation in Virtual Reality - Fast Forward | VIS 2022

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Une plate-forme de mouvement modifie mécaniquement l’accélération corporelle. La stimulation vestibulaire galvanique utilise le courant électrique pour influencer les signaux vestibulaires et fait l'objet de recherches spécialisées. Les effets dépendent de l'appareil, de l'exposition et du protocole expérimental. Ce sujet de recherche n’établit pas de bénéfice général en matière de confort ni de mise en œuvre adaptée en classe.

Omnidirectional Galvanic Vestibular Stimulation in Virtual Reality - Fast Forward | VIS 2022 — IEEE Visualization Conference. https://www.youtube.com/watch?v=lUH0qri84Qk

Diapositive 50 / 56

Diapositive en ligne ↗

5.2 Restitutions sensorielles · Odorat

Stimulation olfactive

Faire percevoir une odeur associée à un objet ou à un environnement

NOTES DE COURS

Ces catégories structurent la présentation par effet recherché. Elles ne sont pas des canaux indépendants : marcher sollicite aussi le toucher, le système vestibulaire et la vision. Un même dispositif peut intervenir dans plusieurs expériences sensorielles.

Diapositive 51 / 56

Diapositive en ligne ↗

5.2 Restitutions sensorielles · Odorat

Les familles d’interfaces olfactives

Diffusion dans l’espace

Une odeur est libérée dans l’environnement

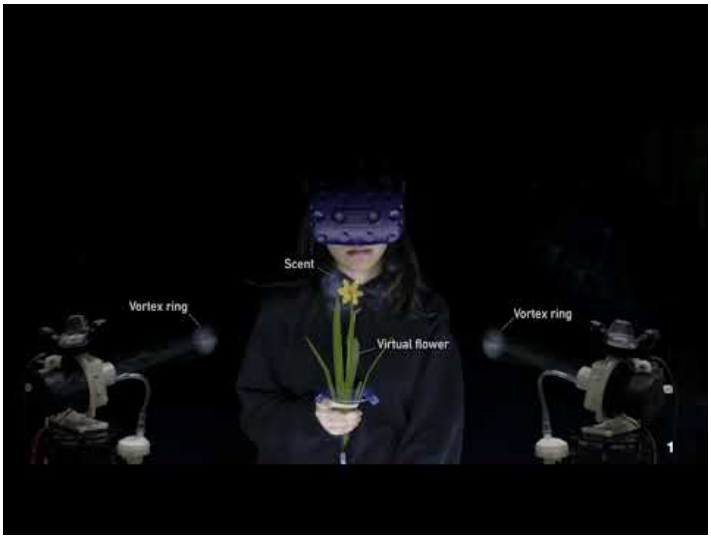
Diffusion de proximité

Un dispositif porté ou approché du nez

NOTES DE COURS

La diffusion, le temps d’arrivée et la dissipation des odeurs conditionnent le contrôle du stimulus. L’odeur et les flux d’air tactiles sont distingués dans ce cours.

Restitution olfactive : aBio



aBio: Active Bi-Olfactory Display Using Subwoofers for Virtual Reality

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

aBio: Active Bi-Olfactory Display Using Subwoofers for Virtual Reality — hu youyang.
https://www.youtube.com/watch?v=R53b0H5C-IM

Diapositive 53 / 56

Diapositive en ligne ↗

5.2 Restitutions sensorielles · Goût

Stimulation gustative

Faire percevoir des saveurs ou modifier la flaveur d’un aliment

NOTES DE COURS

Ces catégories structurent la présentation par effet recherché. Elles ne sont pas des canaux indépendants : marcher sollicite aussi le toucher, le système vestibulaire et la vision. Un même dispositif peut intervenir dans plusieurs expériences sensorielles.

Diapositive 54 / 56

Diapositive en ligne ↗

5.2 Restitutions sensorielles · Goût

Les familles d’interfaces gustatives

Substances sapides

Solutions ou gels mis en contact avec la langue

Modulation électrique

Électrodes ou contrôle du transport des substances

Approches multisensorielles

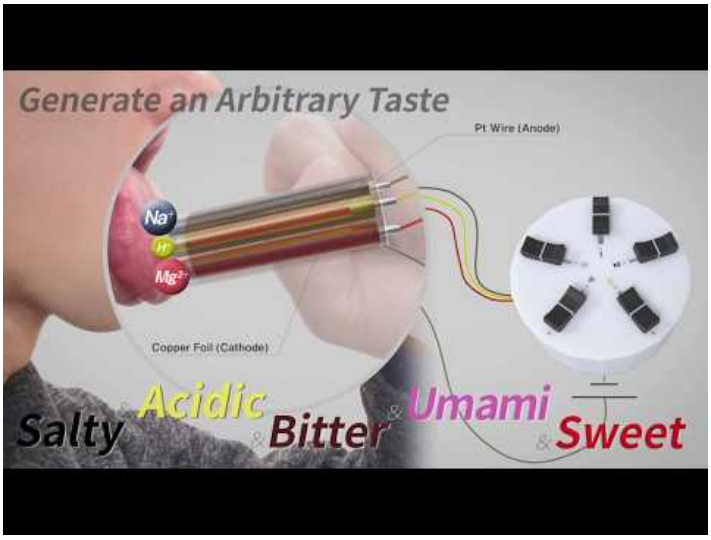
Modifier la flaveur perçue par la vision et l’odorat

NOTES DE COURS

Norimaki Synthesizer utilise cinq gels et contrôle le transport des ions par électrophorèse. Le courant sert à moduler la contribution des substances sapides ; il ne faut pas le confondre avec une stimulation électrique directe de la langue. Le goût est à distinguer de la flaveur, qui dépend aussi de l’odorat et d’autres sensations.

Meta Cookie illustre une approche multisensorielle : un biscuit réel est associé à une apparence modifiée en réalité augmentée et à des odeurs. La flaveur perçue peut changer par interaction entre les sens, sans modification des ingrédients du biscuit.

Restitution gustative : Norimaki Synthesizer



[CHI2020] Norimaki Synthesizer: Taste Display Using Ion Electrophoresis in Five Gels

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Norimaki Synthesizer utilise cinq gels et contrôle le transport des ions par électrophorèse. Le courant sert à moduler la contribution des substances sapides ; il ne faut pas le confondre avec une stimulation électrique directe de la langue. Le goût est à distinguer de la flaveur, qui dépend aussi de l’odorat et d’autres sensations.

[CHI2020] Norimaki Synthesizer: Taste Display Using Ion Electrophoresis in Five Gels — □□□□ □ □□□□. https://www.youtube.com/watch?v=7HIm4LoAZxU

Meta Cookie : vision, odorat et goût



Meta Cookie at Exploratorium After Dark

Lire la vidéo ↗

NOTES DE COURS

Meta Cookie, développé par Takuji Narumi et ses collègues à l'Université de Tokyo, superpose une apparence différente à un biscuit réel et diffuse des odeurs associées. L'expérience vise à modifier la flaveur perçue par interaction entre vision, olfaction et gustation. Les ingrédients du biscuit restent les mêmes.

La vidéo présente une démonstration à l'Exploratorium. Le dispositif agit sur le contexte multisensoriel de la dégustation ; il ne stimule pas directement les récepteurs gustatifs de la langue. Les effets perceptifs dépendent des conditions et des participants.