
INTRODUCTION À LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Samir OTMANE (PR Univ. Évry, Paris-Saclay), samir.otmane@univ-evry.fr

Frédéric DAVESNE (IGR Univ. Évry, Paris-Saclay), frederic.davesne@univ-evry.fr



MATÉRIEL DE COURS ET DE TPS

Site Web: <https://ibisc.univ-evry.fr/~fdavesne/ens/>

Cours:

- Cours disponible sur le site une semaine après le cours;
- Articles de recherche et vidéos disponibles sur le site en lien avec le cours.

TDs (sous la forme d'analyse d'articles de recherche):

- Sujet disponibles sur le site une semaine avant le TD.

TPs (sous la forme d'un projet sous Unity 3d):

- Sujet, matériel (Unity 3d, objets 3ds, etc.) disponibles sur le site le jour du TP.

Examen (tous documents interdits!):

- Le corrigé de l'examen disponible sur le site 3 semaines après l'examen.

MATÉRIEL DE COURS ET DE TPS

Site Web: <https://ibisc.univ-evry.fr/~fdavesne/ens/>

Cours: 8 heures

Cours 1: Mercredi 6 septembre 2023, 09h10-13h40

Cours 2: Mercredi 13 septembre 2023 10h50-13h30

Cours 3: Mercredi 20 septembre 2023, 10h50-13h20

TD: 4 heures

TD 1: Mercredi 20 septembre 2023, 12h30-13h30

TD 2: Mercredi 27 septembre 2023, 10h50-13h30

TD 3: Mercredi 4 octobre 2023, 10h50-11h20

TP: 4 heures

TP 1: Mercredi 4 octobre 2023, 11h30-13h30

TP 2: Mercredi 11 octobre 2023, 10h20-12h20

Projet: 12 heures

PR 1: Mercredi 11 octobre 2022, 12h30-13h30

PR 2: Lundi 16 octobre 2023, 13h00-12h30

PR 3: Mercredi 18 octobre 2023, 09h10-13h40

PR 4: Mercredi 25 octobre 2023, 09h10-13h40

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole

4 pôles en fonctionnement en 2023:

- EVR@-IM: Dispositifs de Réalité Mixte immersif ;
- EVR@-TR : Dispositifs de Réalité Mixte « transportables » ;
- EVR@-WE : Dispositifs de Réalité Mixte « wearable » ;
- EVR@-RO : Dispositifs de robotique connectés à Internet.

1 plate-forme arrêtée depuis 2016:

- EVR@-HS: Dispositif de Réalité Mixte semi-immersif.

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



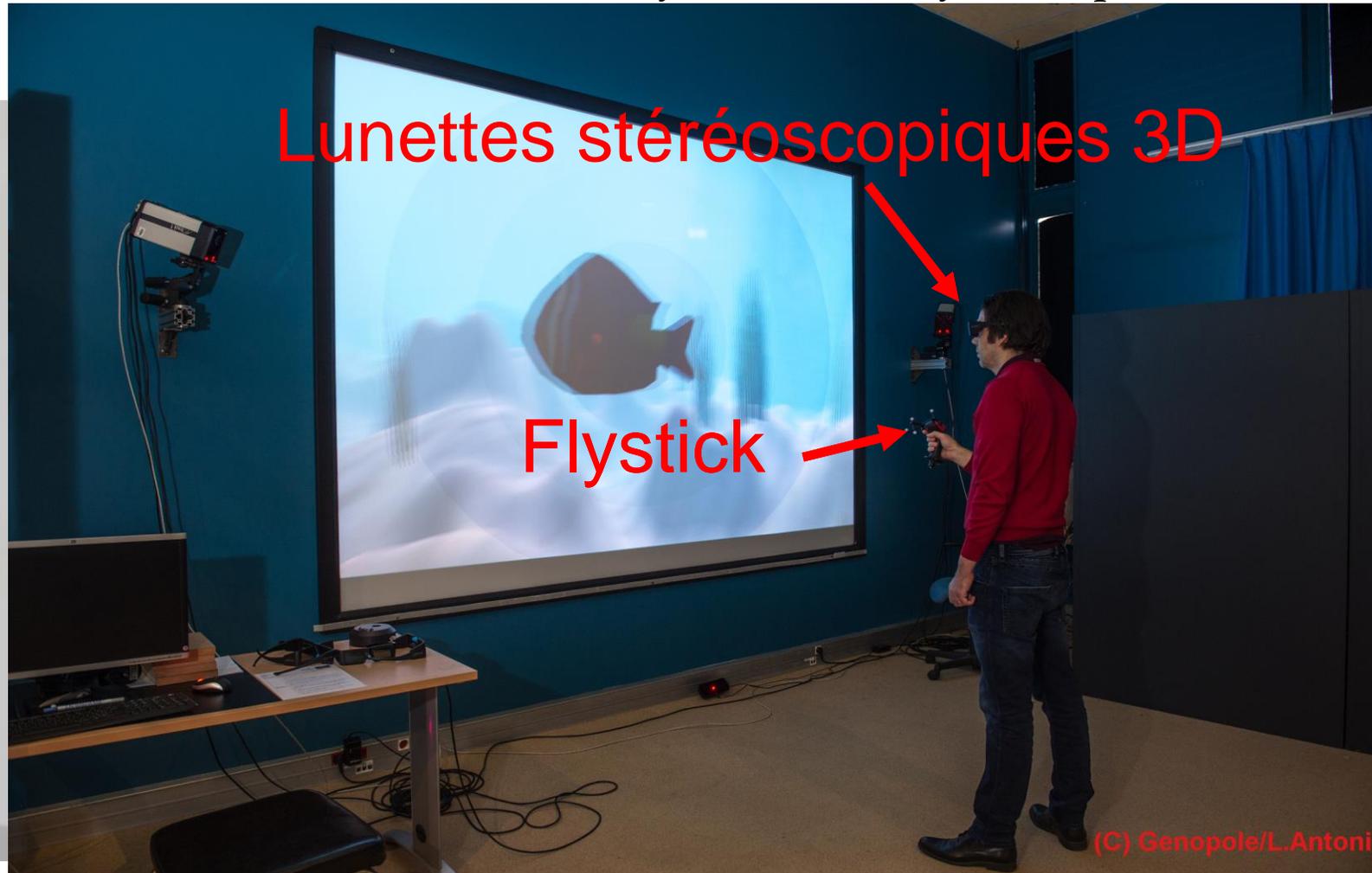
Pôle EVR@-HS
Plate-forme semi-immersive

2003 Plate-forme semi-immersive

- Stéréoscopie active
- Tracking de la tête
- Tracking de la main de 2 personnes

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



Lunettes stéréoscopiques 3D

Flystick

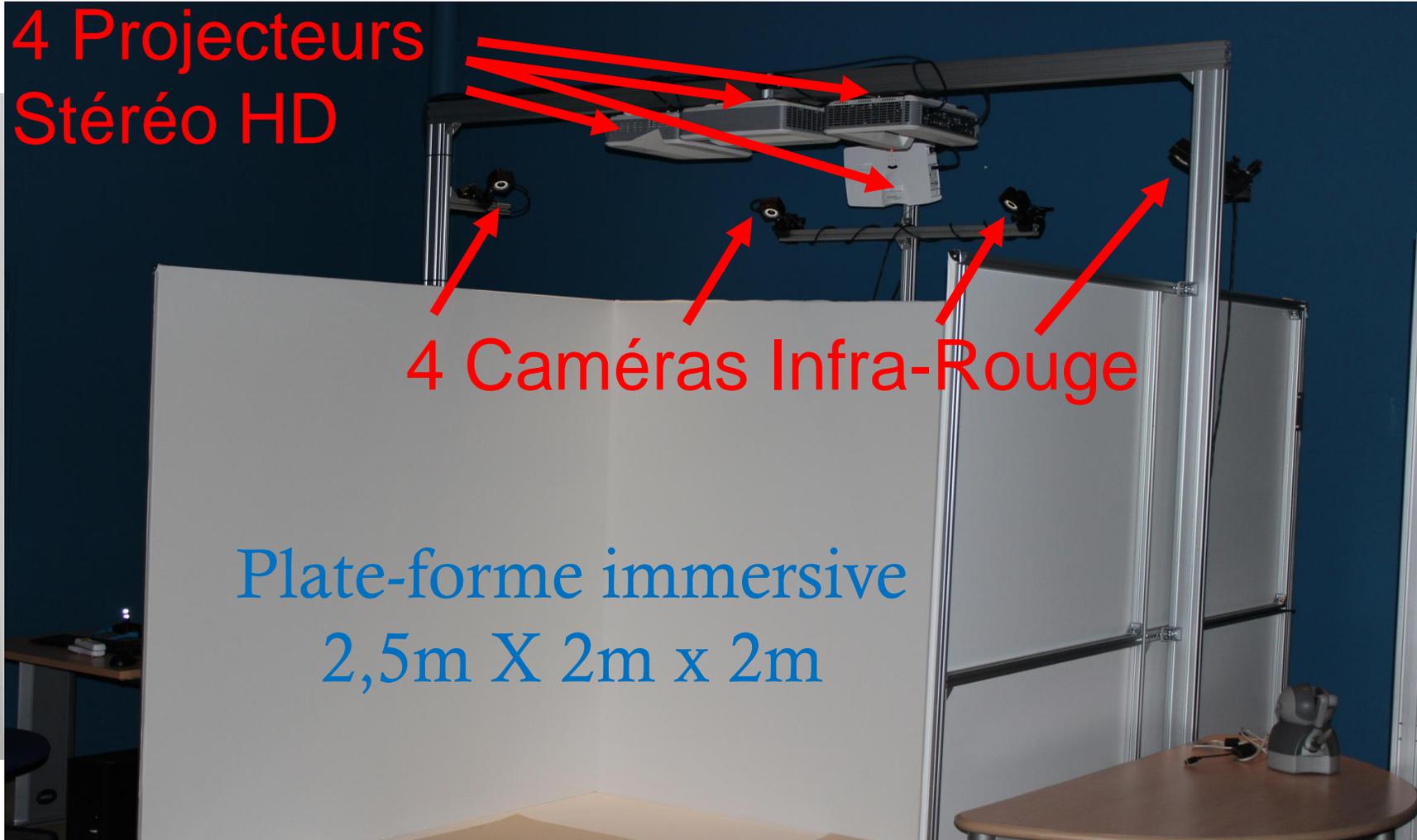
Pôle EVR@-HS
Plate-forme semi-immersive

2003 Plate-forme semi-immersive

- Stéréoscopie active
- Tracking de la tête
- Tracking de la main de 2 personnes

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



4 Projecteurs
Stéréo HD

4 Caméras Infra-Rouge

Plate-forme immersive
2,5m X 2m x 2m

Pôle EVR@-IM
Plate-forme Immersive

EVR@-IM
2016 Un système Mobilyz
(Realyz)

- Stéréoscopie active
- Tracking de la tête
- Tracking de la main

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



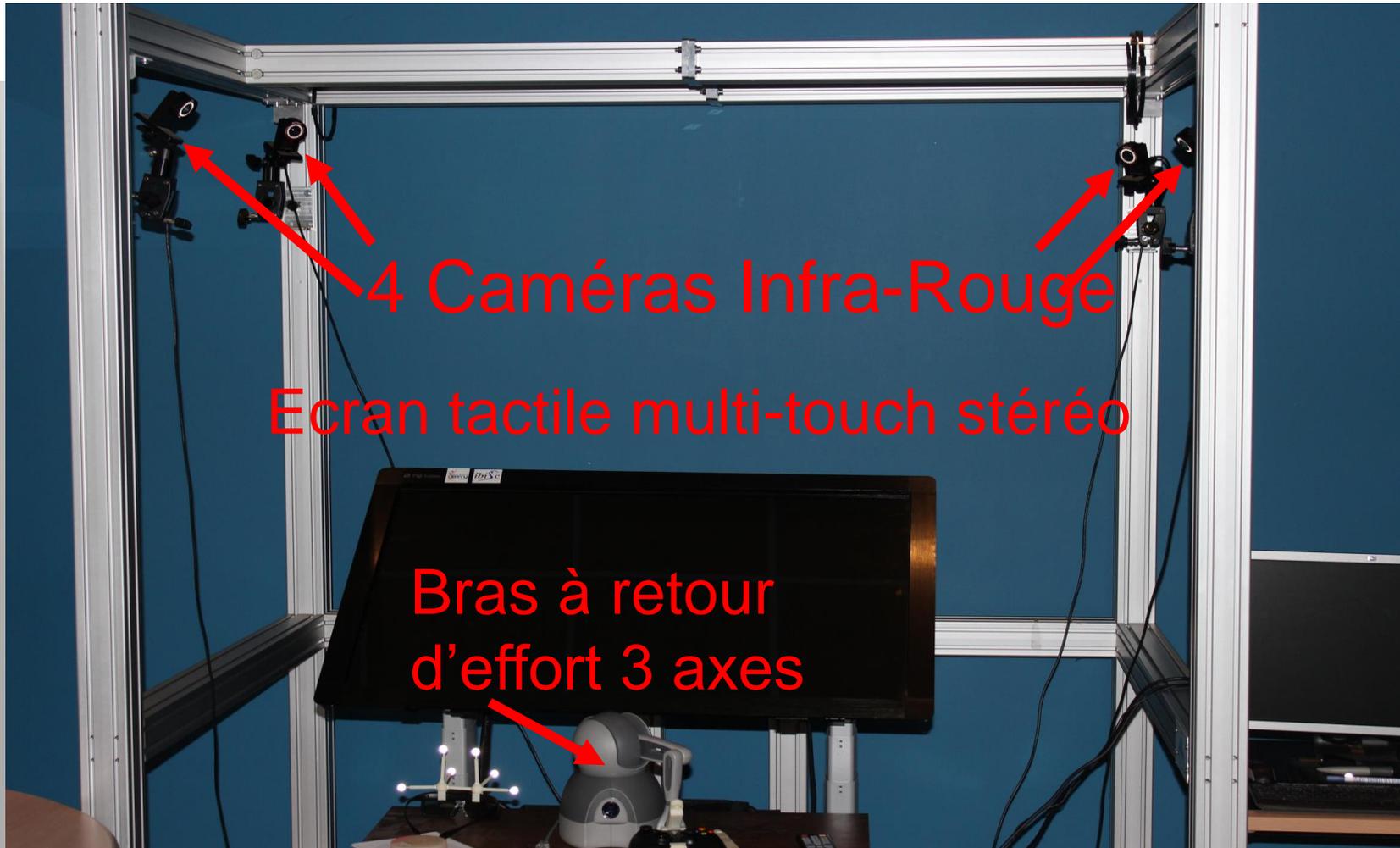
Pôle EVR@-IM
Plate-forme Immersive

- EVR@-IM**
2016 Un système Mobilyz (Realyz)
- Stéréoscopie active
 - Tracking de la tête
 - Tracking de la main

(C) Genopole/L.Antoni

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



4 Caméras Infra-Rouge
Ecran tactile multi-touch stéréo

Bras à retour
d'effort 3 axes

Pôle EVR@-TR

Matériels transportables

2011 Système avec :

- Table tactile multitouch
- Stéréoscopie 3D
- Tracking de la tête
- Retour d'effort 3d (Phantom OMNI)

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



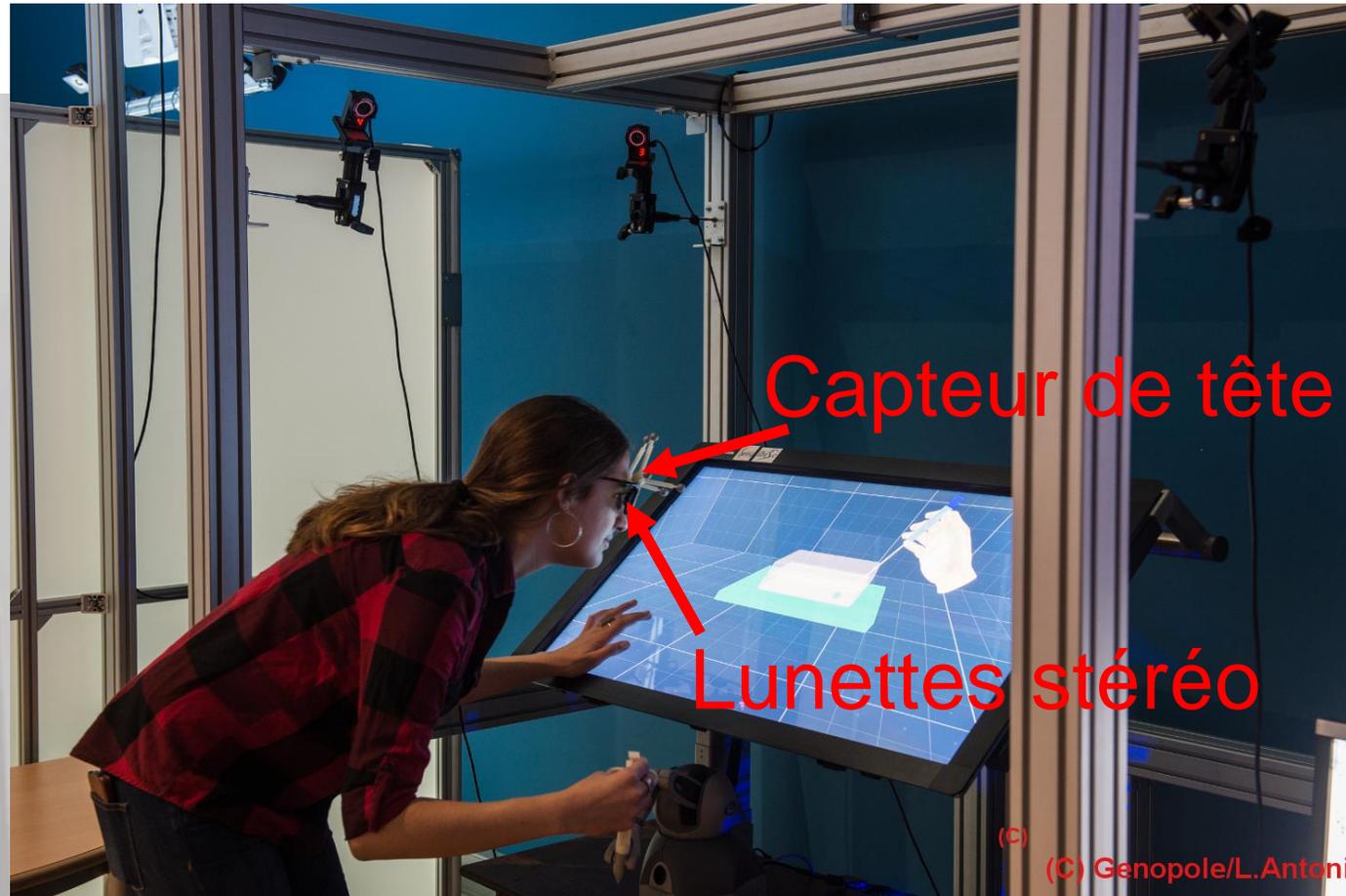
Pôle EVR@-TR
Matériels transportables

2016 Un système avec :

- 1 casque Oculus Rift DK2
- 1 Phantom Omni 3DDL
- Des outils fabriqués grâce à l'imprimante 3d (volant)

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



Pôle EVR@-TR

Matériels transportables

2011 Système avec :

- Table tactile multitouch
- Stéréoscopie 3D
- Tracking de la tête
- Retour d'effort 3d (Phantom OMNI)
- Des outils fabriqués grâce à l'imprimante 3d (sonde pour laparoscopie)

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



2016 Un système avec :

- 1 Oculus Rift DK2
- 2 Phantom Omni 3dd1



ibisc

université
évry
val-d'essonne

université
PARIS-SACLAY

Pôle EVR@-TR
Matériels transportables

2019 Un système avec :

- 1 Oculus Rift
 - 2 Phantom Omni 3dd1
 - 2 gants de données Hi5 VR Glove
 - Des outils fabriqués grâce à l'imprimante 3d (ciseaux de chirurgien)
- + 2 Oculus Quest 64Go

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



Pôle EVR@-TR
Matériels transportables

2019 Un système avec :

- 1 casque HTC Vive + 2 Contrôleurs
- 1 casque HTC Vive Pro Eye
- 2 Phantom Omni 3ddl

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole

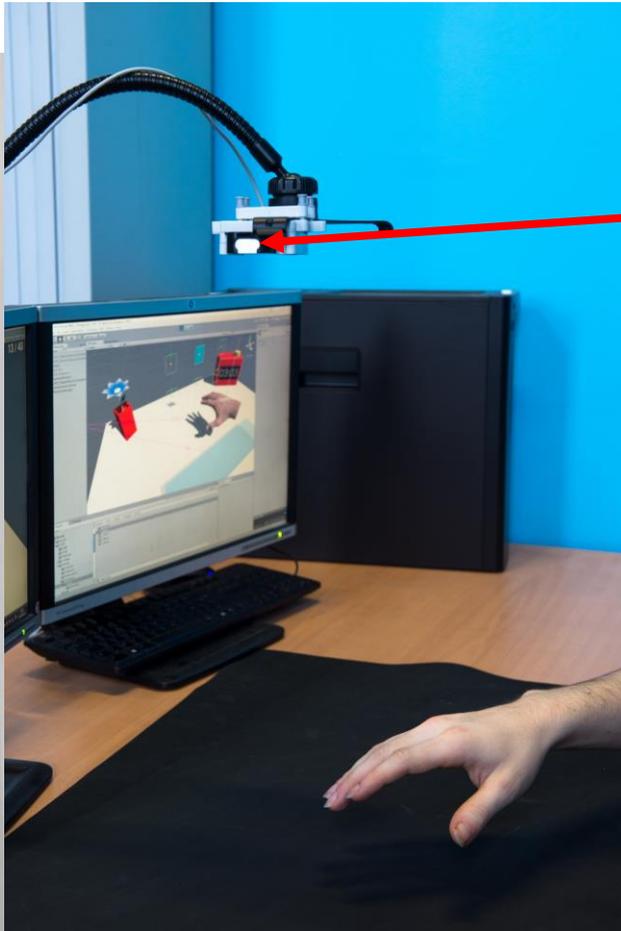


Pôle EVR@-TR
Matériels transportables

2016 Un système Virtuose
(Haption) avec :
- Retour d'effort 6d

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



LEAP MOTION

Pôle EVR@-TR
Matériels transportables

- 2016** Un système avec :
- 1 LeapMotion
 - Un tapis d'absorption d'IR

INTRODUCTION: APERÇU DE LA PLATE-FORME EVR@

Plate-forme de l'Université d'Évry – Paris Saclay/Genopole



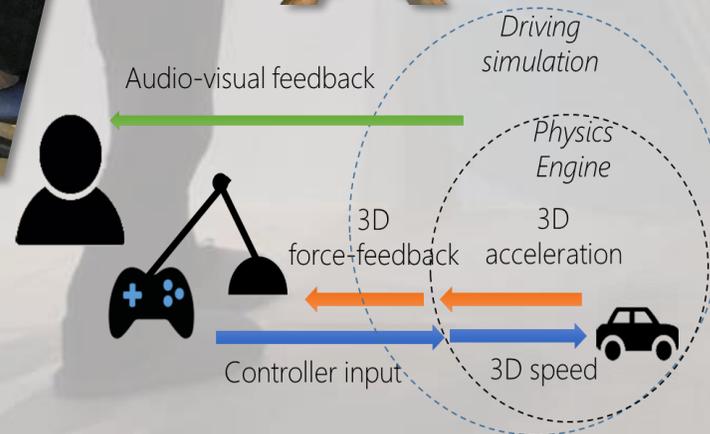
Pôle Impression 3d

2011 Une imprimante 3d:

- HP DesignJet 3D

INTRODUCTION: QUELQUES PROJETS DE LA PLATE-FORME EVR@

Projet Haptic Motion



Pôle EVR@-TR
Matériels transportables

[\[Voir la vidéo\]](#)

INTRODUCTION: QUELQUES PROJETS DE LA PLATE-FORME EVR@

Projet VR Skills Lab (2015-)



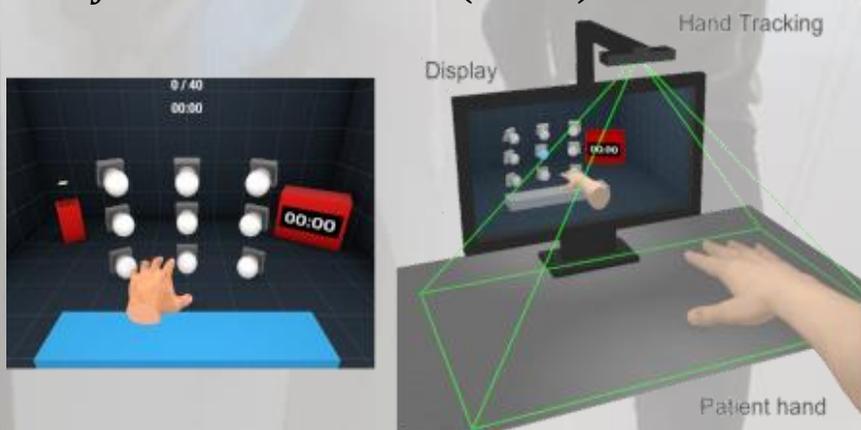
Pôles EVR@-TR, EVR@-IM

[\[Voir la vidéo\]](#)



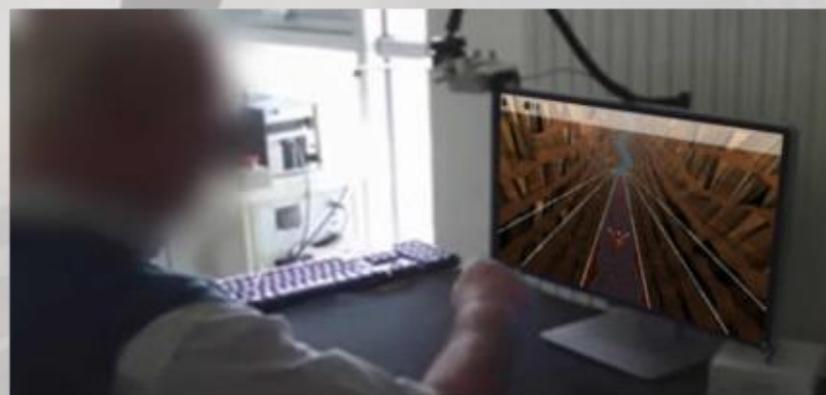
INTRODUCTION: QUELQUES PROJETS DE LA PLATE-FORME EVR@

Projet CESAAR-AVC (2016-)



Pôles EVR@-TR

[\[Voir la vidéo\]](#)



INTRODUCTION: EXEMPLE D'EXPÉRIENCE RÉCENTE SUR EVR@

Projet VR Skills Lab collaborative (2020)



Pôles EVR@-TR

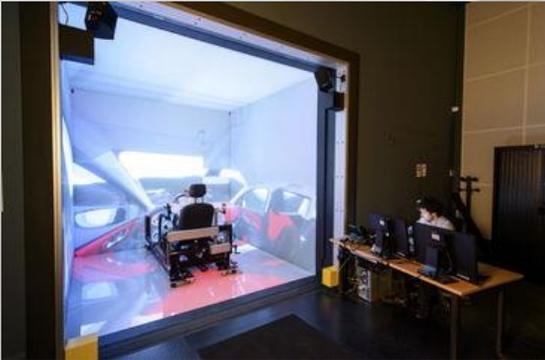
[\[Voir la vidéo\]](#)

EVR@ PARTICIPE À LA FÊTE DE LA SCIENCE 2023

LE VENDREDI 13 OCTOBRE 2023



INTRODUCTION: QUELQUES DOMAINES D'APPLICATION DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE

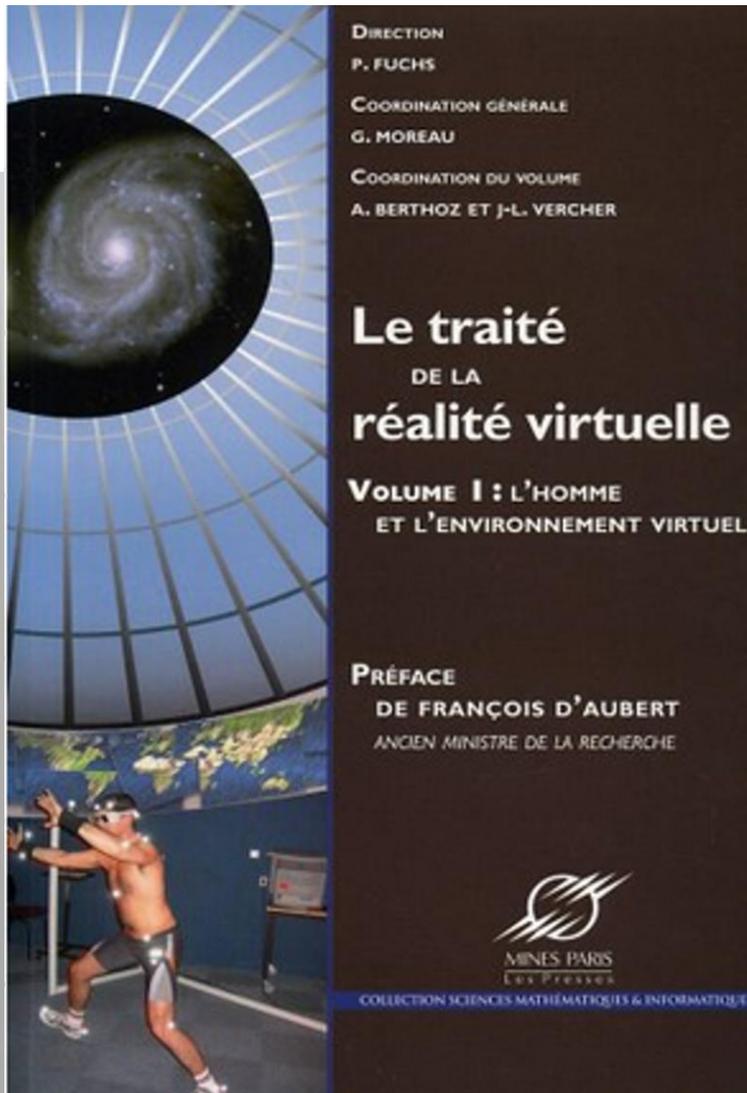


[Simulateur de conduite Renault](#)



- Aide à l'apprentissage de gestes (conduite, chirurgie, préparation à un théâtre d'opération militaire, production automobile, etc.)
- Aide au travail collaboratif
- Mise en situation pour la santé [[Vidéo](#)]
- Visites virtuelles (musées etc.) [[Vidéo](#)]
- Jeux [[Vidéo](#)]

INTRODUCTION: BIBLIOGRAPHIE



Traité de la réalité virtuelle

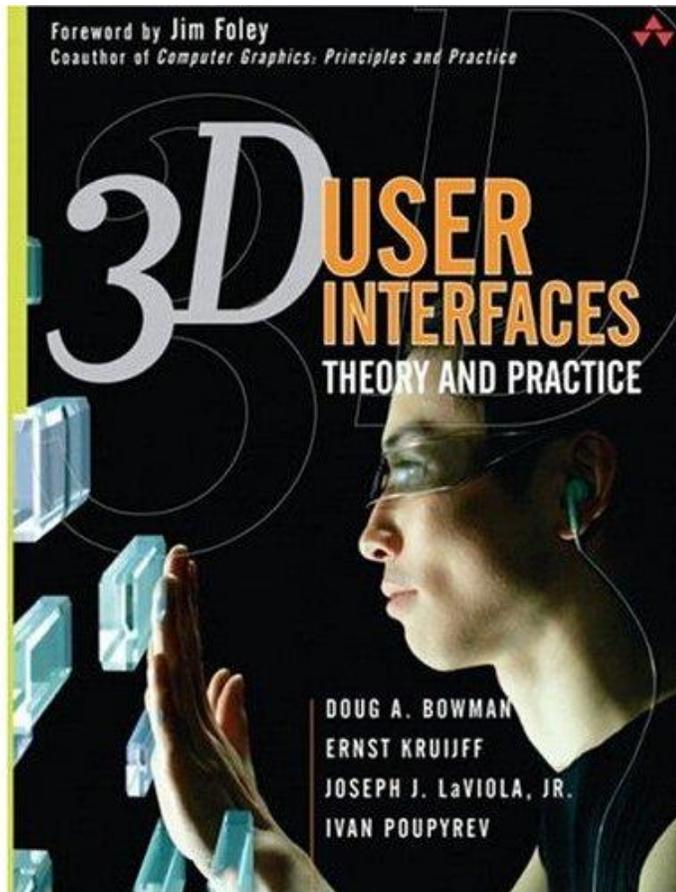
F. Fuchs, Guillaume Moreau, 2006-2009

5 volumes:

- L'homme et l'environnement virtuel (Vol. 1)
- L'interfaçage, l'immersion et l'interaction en réalité virtuelle (Vol. 2)
- Outils et modèles informatiques des environnements virtuels (Vol. 3)
- Les applications de la réalité virtuelle (Vol. 4)
- Les humains virtuels (Vol. 5)

Les volumes sont récupérables gratuitement
au format électronique pour les étudiants: [\[Voir sur le site Web de l'AFXR\]](#)

INTRODUCTION: BIBLIOGRAPHIE



3D User Interfaces, Theory and Practice

D. Bowman, E. Kruijff, J. Laviola, I. Poupyrev, Addison-Wesley, Boston, 2005

-Prêt possible

Interaction 3D en réalité virtuelle. Etat de l'art.

N. Ouramdane, S. Otmane, Malik Mallem, Technique et Science Informatiques, 2009: 1017~1049, [Fichier PDF récupérable ici](#)

PROBLÉMATIQUE TRAITÉE DANS CE COURS

Problème de l'ingénieur

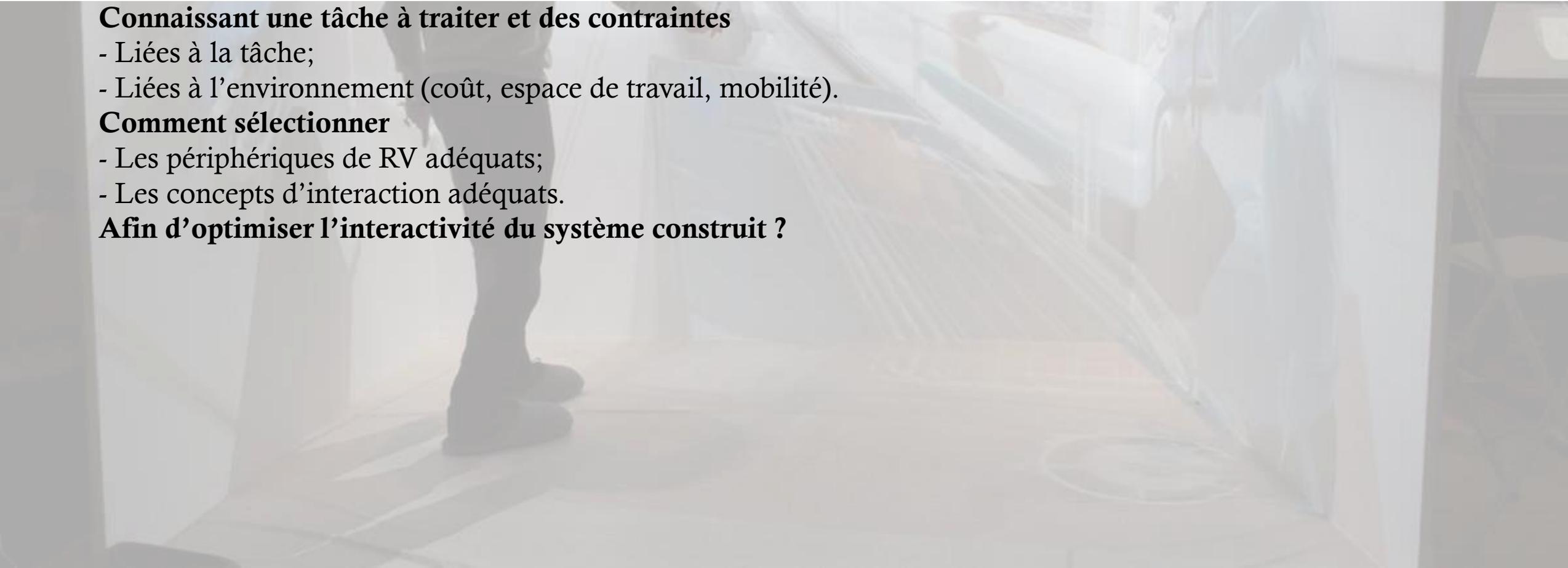
Connaissant une tâche à traiter et des contraintes

- Liées à la tâche;
- Liées à l'environnement (coût, espace de travail, mobilité).

Comment sélectionner

- Les périphériques de RV adéquats;
- Les concepts d'interaction adéquats.

Afin d'optimiser l'interactivité du système construit ?



PLAN DU COURS

Part I. De la Boucle Perception/Action dans un monde réel puis virtuel

Part II. Techniques d'interaction mono-utilisateur en Réalité Virtuelle

Part III. Techniques d'interaction multi-utilisateurs en Réalité Virtuelle

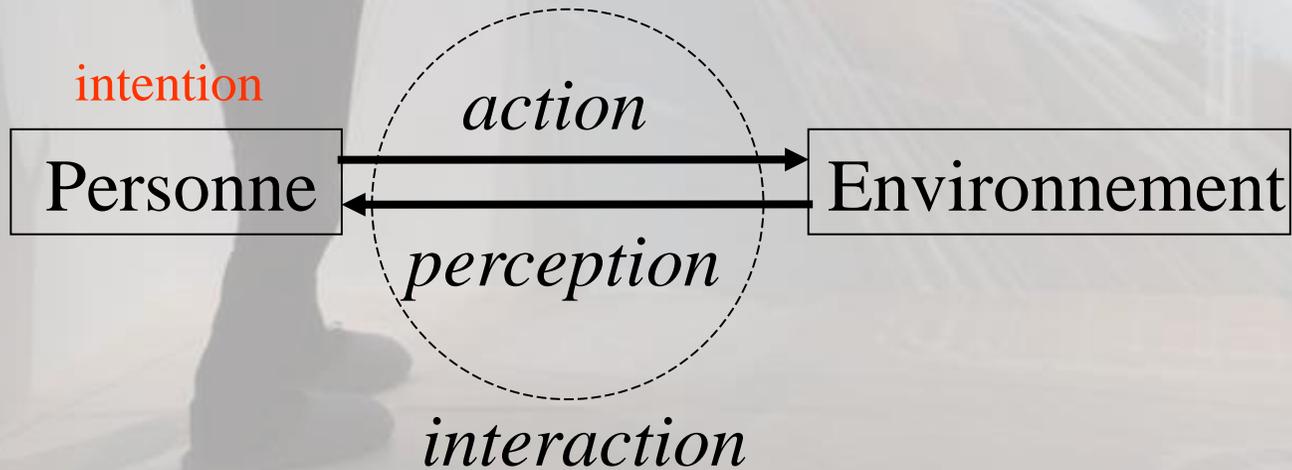
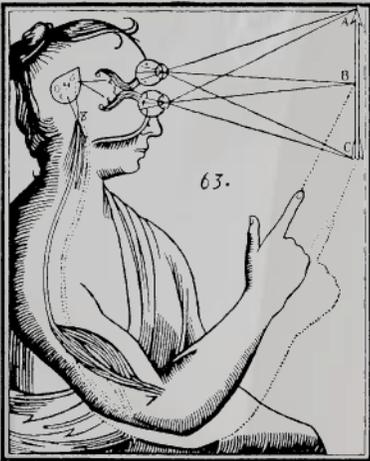
PLAN DU COURS

Part I. De la Boucle Perception/Action dans un monde réel puis virtuel

Part II. Techniques d'interaction mono-utilisateur en Réalité Virtuelle

Part III. Techniques d'interaction multi-utilisateurs en Réalité Virtuelle

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME



I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Dans la vie de tous les jours ...

- L'homme utilise de nombreuses actions réflexes dans sa vie de tous les jours
- Utilisation des sens pour contrôler le bon fonctionnement des actions
- Utilisation des actions pour mobiliser les sens.

C'est la signification du terme
boucle perception / action! Voir [Berthoz, 1997]

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Exemple 1: la saisie d'objets dans le monde réel



Remarques initiales:

- La construction de l'espace proche peut être compliquée en RV

Conséquence:

- La préhension en RV n'est pas facile *a priori*

[\[Vidéo\]](#)

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

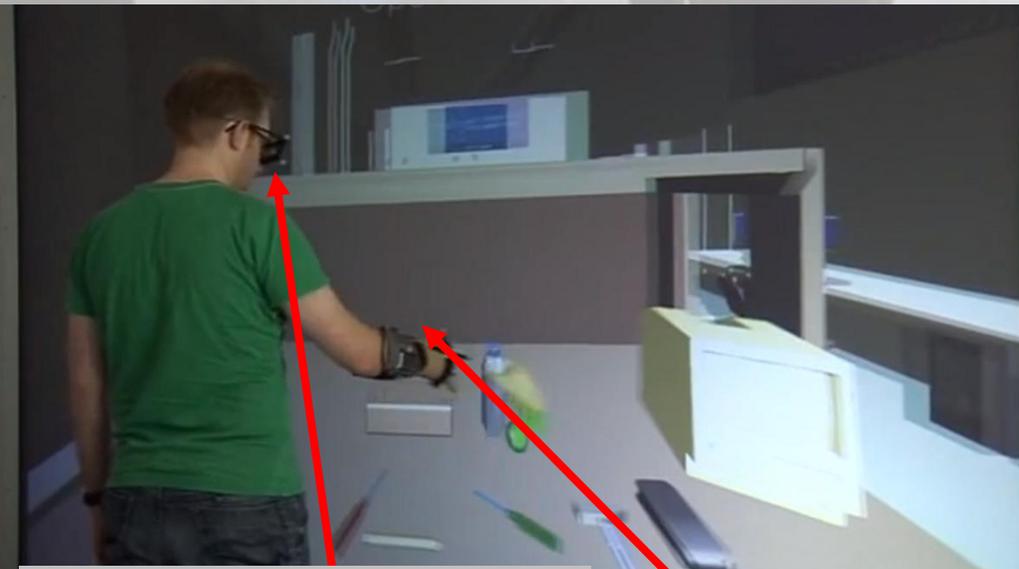
Exemple 1: la saisie d'objets dans le monde réel



- C'est un **réflexe sensorimoteur complexe *appris***
- Nécessite une coordination entre:
 - Les muscles du bras (organe moteur)
 - Les yeux pour le contrôle en phase d'approche et de saisie
 - Des retours sensoriels de la main en phase de saisie
- Caractérisée par une vitesse d'approche rapide (loin de l'objet), puis plus lente (à l'approche de l'objet)

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Exemple 2: la saisie d'objets dans le monde virtuel



Lunettes stéréoscopiques
Marqueur de tête

Marqueurs pour la main
Exosquelette
Gants de données

Nécessite:

- Capteurs (caméras Infra-Rouge, gants de données)
 - Effecteurs (exosquelette)
 - Liant entre réel et virtuel
- = techniques d'interaction 3D

[\[Vidéo\]](#)

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Exemple 3: la marche dans le monde réel

- C'est un réflexe sensorimoteur complexe appris
- Nécessite une coordination:
 - des muscles des jambes, des bras, de la colonne et du cou (organes moteurs)
 - Des yeux, de l'oreille interne, des sensations tactiles des pieds et des muscles (organes sensoriels)

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Exemple 4: la marche... dans le monde virtuel



Gyroscope

Casque
HMD
stéréoscopique

Sphère
Liaison
Rotule

Nécessite:

- Capteurs
- Effecteurs
- Liant entre réel et virtuel

= techniques d'interaction 3D

[\[Vidéo ancienne \(2007\)\]](#)

[\[Vidéo plus récente \(09/2017\)\]](#)



I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Dans les deux cas, coté réel

- Apprentissage très tôt dans l'enfance
- Mécanisme robuste et fiable (si pas de problèmes de santé ...)
- Aucun besoin de concentration après apprentissage

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Dans les deux cas, coté virtuel

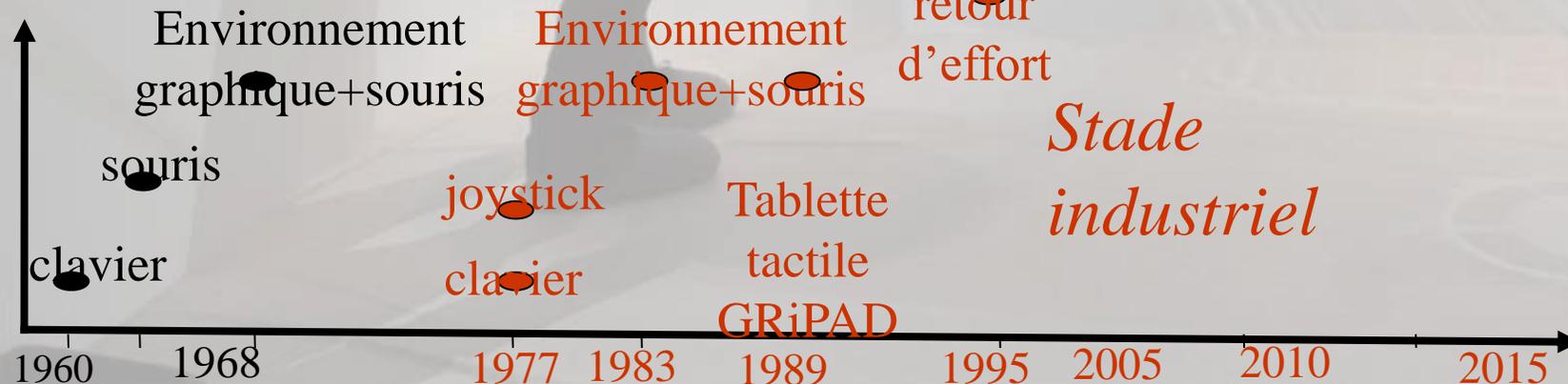
- **Dans le monde virtuel, coté système**
 - Besoin d'instrumentation
 - Périphériques adaptés à la restitution sensorielle et motrice.
 - Besoin d'une couche logicielle spécifique
 - Construction d'une relation entre les mouvements de l'homme et la réaction du système dans le monde virtuel.
- **Dans le monde réel, coté homme**
 - Besoin d'une adaptation à l'interaction avec le monde virtuel ;
 - Besoin de concentration? Besoin d'apprentissage? ;
 - **Études cognitives à mener pour appréhender l'adéquation humain/système.**

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Et la relation entre l'homme et la machine?

Virtuix

Complexité de l'action réflexe
Nombre d'indices sensoriels
utilisés/Organes moteurs



I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Donc, des interactions plus naturelles entre l'homme et la machine sont possibles.



Combat de boxe avec la Kinect
(photo www.kopine.com, 2012)



Marche et course « naturelles »
(photo www.virtuix.com, 2020)

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Cependant, attention !!!

- Beaucoup de périphériques ne sont pas sur le schéma car prototypes ou trop onéreux donc confidentiels.
- Ex: SPIDAR, Tracking optique ART, VICON, Systèmes de visualisation immersifs du type CAVE.

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

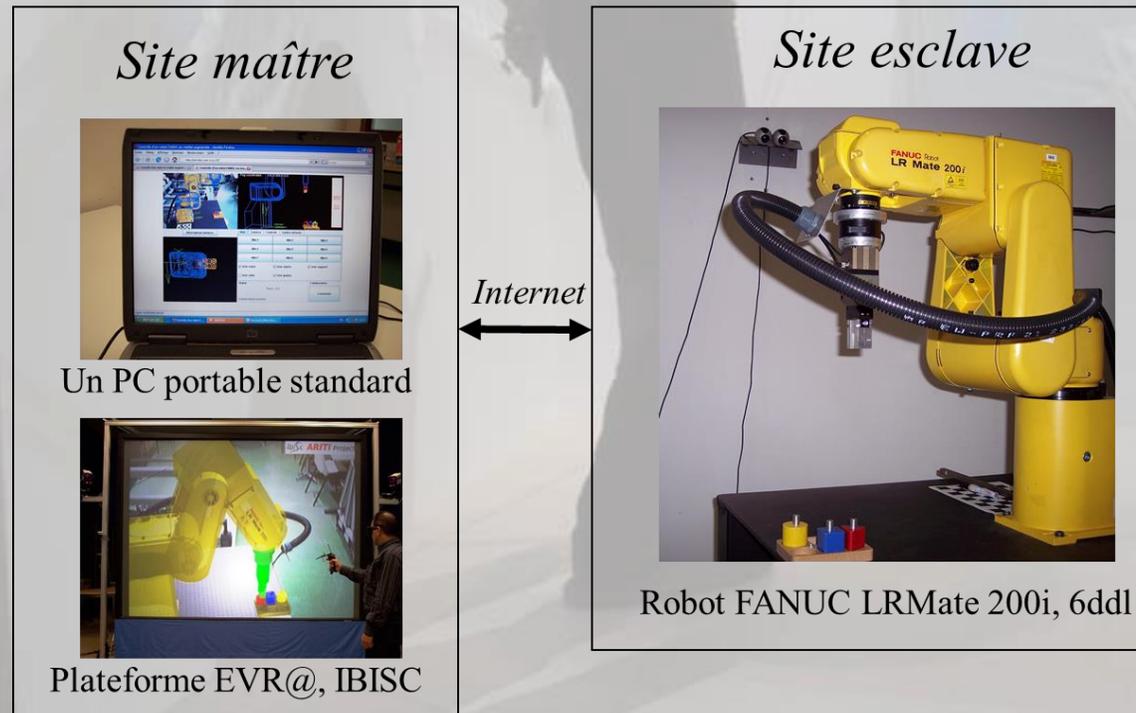
Pourquoi utiliser une interaction « naturelle » avec l'environnement ?

• Principalement parce que :

- On espère une meilleure acceptation de la machine par l'homme
- On espère réduire l'apprentissage lié à l'interaction avec la machine pour se concentrer sur la tâche à exécuter dans le monde virtuel

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Un premier exemple complet d'interaction homme/machine ...

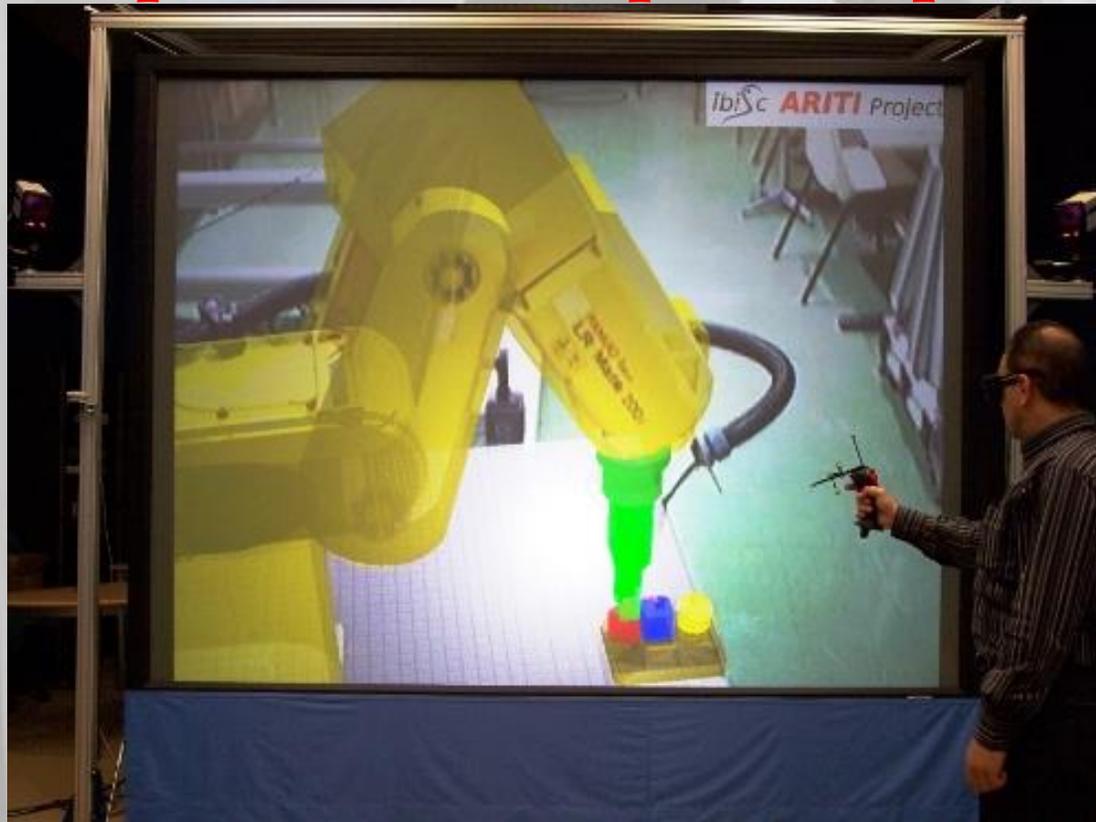


Projet ARITI (1997-2006)

- Interaction entre un homme et un robot distant via une liaison internet
- Article de référence: [Otmame et al., 2000]

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

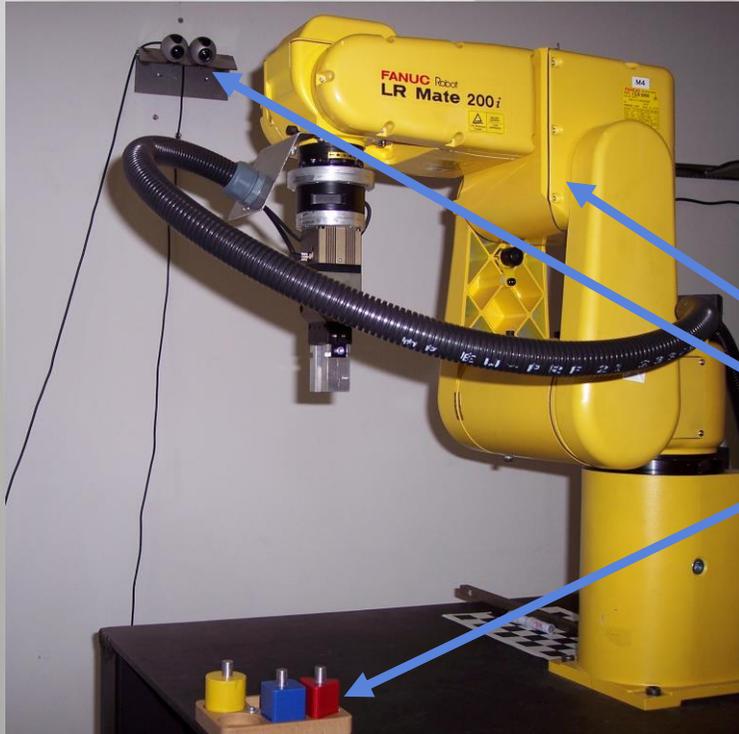
Un premier exemple complet d'interaction homme/machine ...



[\[Vidéo du projet ARITI\]](#)

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Un premier exemple complet d'interaction homme/machine ...



Site esclave robotisé, plate-forme EVR@-RO, 2006

- Robot FANUC LR Mate 200i, 6ddl
- Deux Webcams (permet la vision stéréoscopique) surplombant le robot
- Pièces géométriques colorées à déplacer d'un socle à l'autre
- PC serveur d'images relié aux Webcams, délivrant un flux stéréoscopique
- PC serveur de commandes pilotant le robot axe par axe

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Un premier exemple complet d'interaction homme/machine ...



Système semi-immersif

Stéréoscopie active

Tracking de gestes

- caméras IR ARTTrack1

- système SPIDAR

Système à retour d'effort SPIDAR



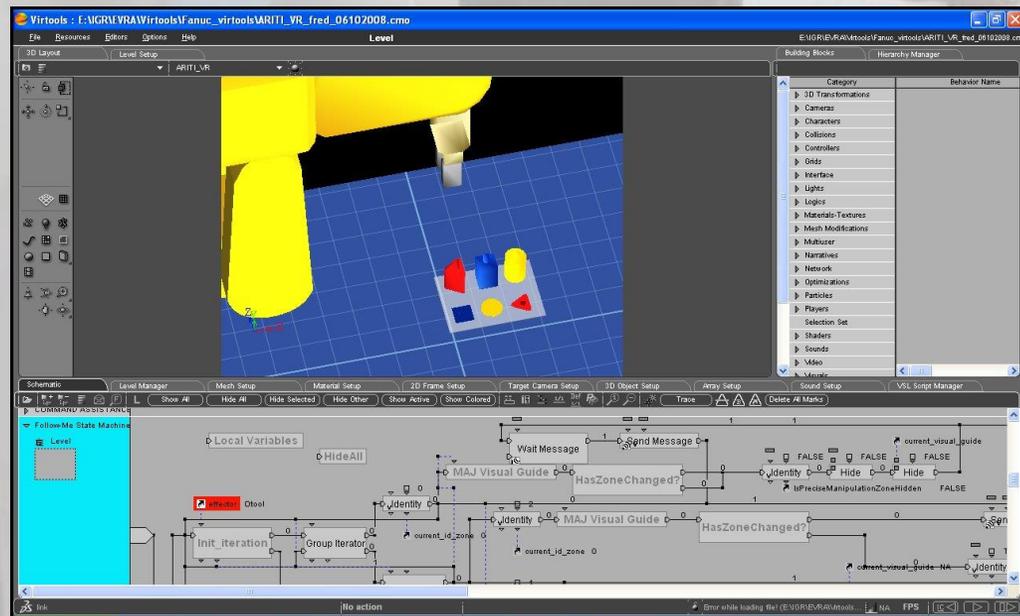
Plate-forme EVR@-HS, 2006

3 PCs serveurs

- Tracking ART, SPIDAR, Graphique

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Un premier exemple complet d'interaction homme/machine ...

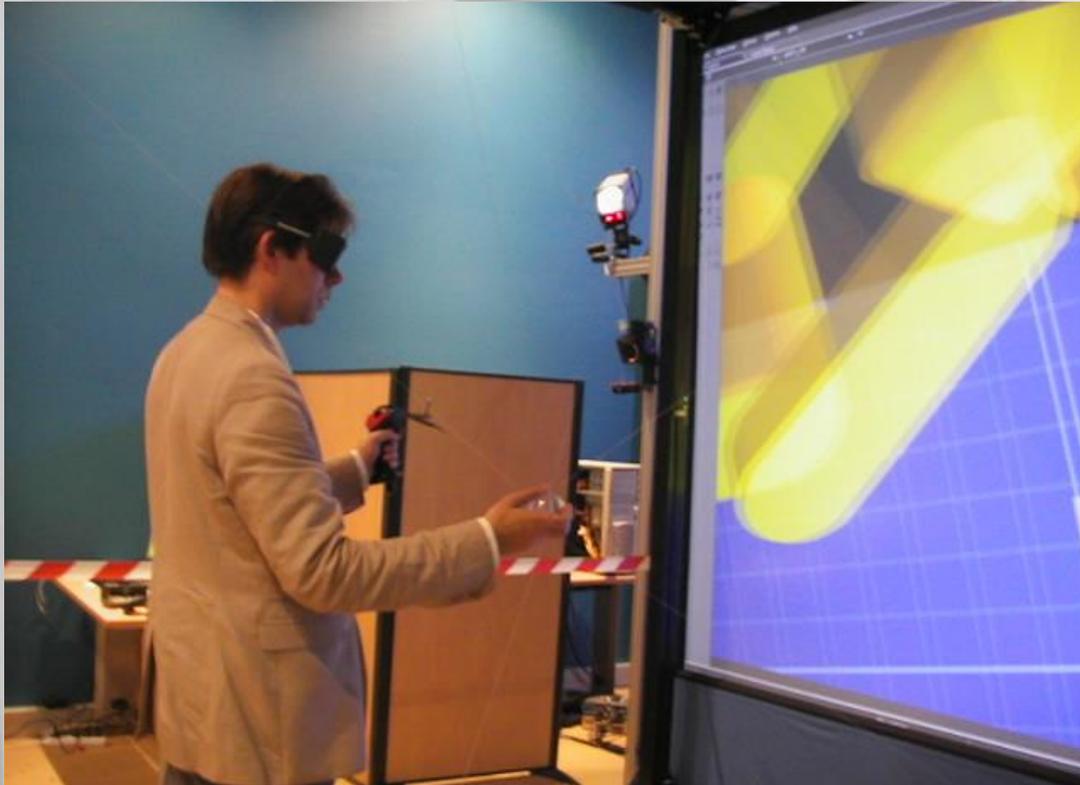


Environnement logiciel pour gérer l'interactivité:

- 3DVIA Virtools, 2006
- Communication avec les 3 serveurs de EVR@
- Relation entre les actions de la Personne et leur conséquence
- Technique d'Interaction 3d *Follow-Me* [Ouramdane et al., 2008]

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Un premier exemple complet d'interaction homme/machine ...

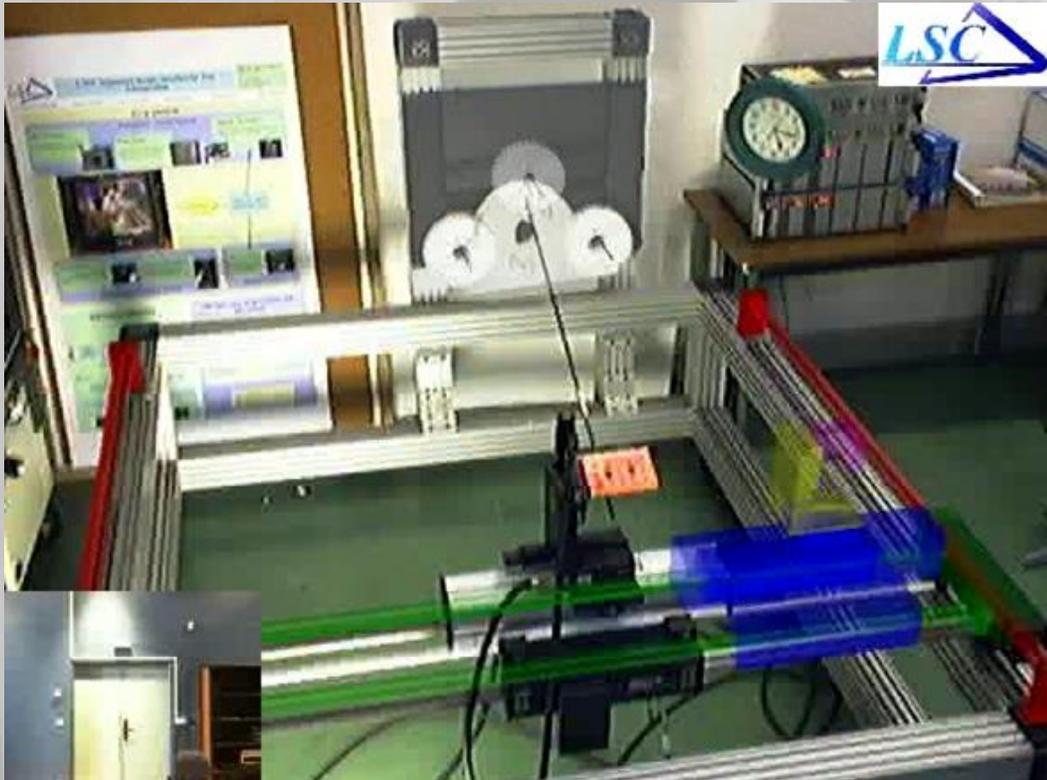


Test de la validation expérimentale d'ARITI

[\[Vidéo\]](#)

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

Un premier exemple complet d'interaction homme/machine ...



Portage de l'application à un autre robot :

[\[Vidéo de la manip avec un robot 4ddl\]](#)

I.1. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: BOUCLE PERCEPTION/ACTION CHEZ L'HOMME

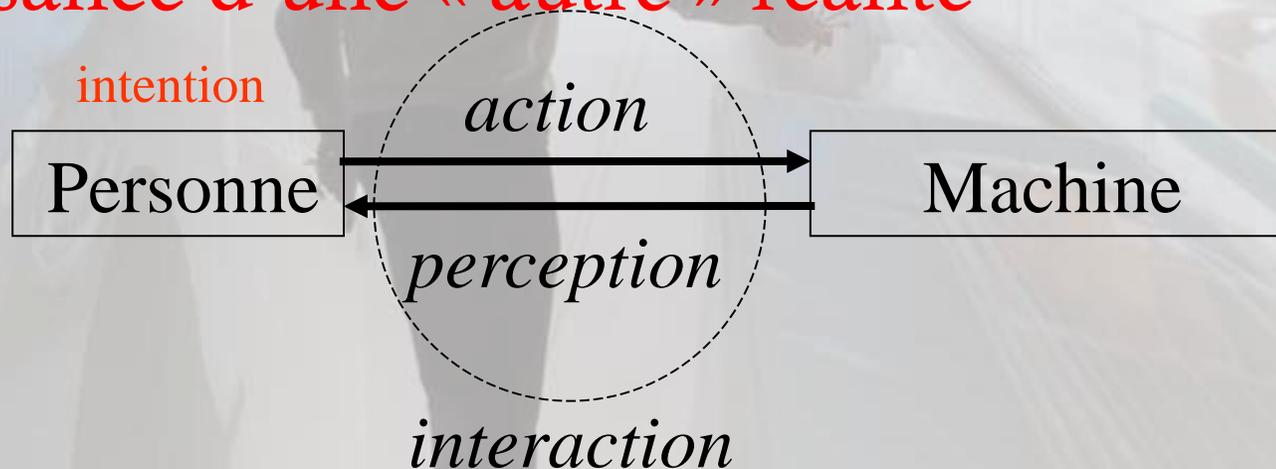
Que nous apprend ce premier exemple sur l'interaction homme/machine?

- Diversité des actions et modes perceptifs pour réaliser un même objectif
- Choix de la **méthode (technique) d'interaction** très important
- La mise en œuvre technique est rapidement complexe si des outils adéquats ne sont pas utilisés
- Beaucoup de questions relevant des sciences cognitives

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION:

CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Naissance d'une « autre » réalité



L'homme perçoit la réalité à travers l'action coordonnée de ses organes sensori-moteurs.

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION:

CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Naissance d'une « autre » réalité

- Une « autre » réalité naît de l'action coordonnée des périphériques d'entrée (Transfert de l'action des organes moteurs de l'homme vers la machine) et des périphériques de sortie (Transfert de l'activité de la machine vers les organes sensoriels de l'homme)

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION:

CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Une définition de la Réalité Virtuelle

*La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne (ou plusieurs) **une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel**, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel. [Fuch et al., 2009]*

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION:

CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Une définition de la Réalité Virtuelle

- *La RV est un univers de modèles au sein duquel tout se passe comme si les modèles étaient réels parce qu'ils proposent simultanément **la triple médiation des sens, de l'action et de l'esprit.** [Tisseau, 2001]*

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION:

CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Conséquence: lien entre RV et interaction

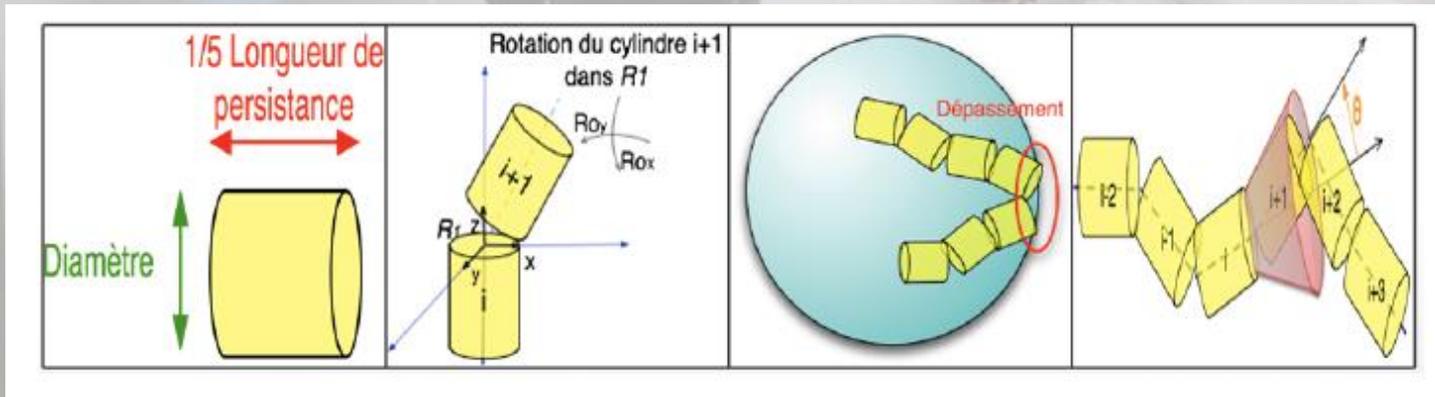
Ces définitions de la RV intègrent très fortement le fait que l'homme puisse interagir avec le monde virtuel.

Cela est très différent, par exemple, de la notion de simulation mathématique.

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION:

CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Exemple en biologie moléculaire: interaction Homme/Chromosome



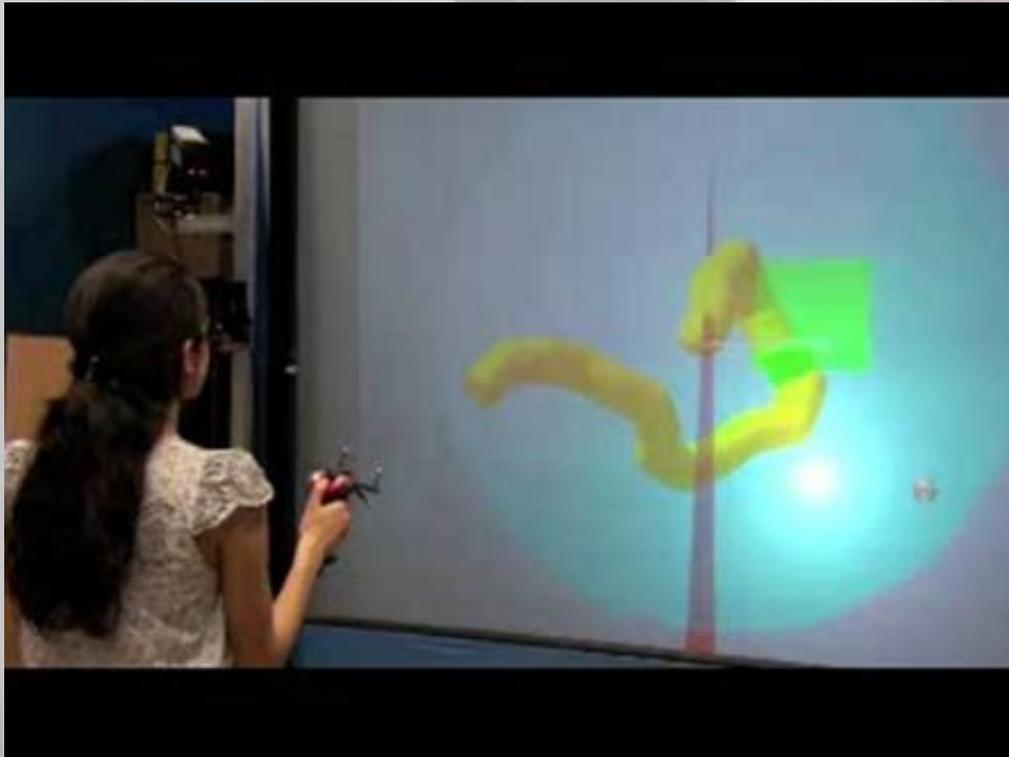
La configuration spatiale des molécules est soumise à des contraintes.

La simulation non interactive permet de visualiser quelques résultats à partir des équations
MAIS l'homme est hors-jeu dans ce processus.

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION:

CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Exemple en biologie moléculaire: interaction Homme/Chromosome



- L'interaction redonne sa place à l'homme dans le choix des conformations correctes pour lui.
- Techniques d'I3D sous contraintes biologiquement plausibles

[[Essabbah et al., 2009](#)]

[[Vidéo](#)]

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION:

CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Notion d'immersion

*L'immersion est l'exposition d'un utilisateur à un environnement virtuel **au moyen de dispositifs** occultant tout ou partie du monde réel, **pour afficher en lieu et place un monde simulé numériquement.** [Burkhardt et al., 2003]*

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Notion d'immersion

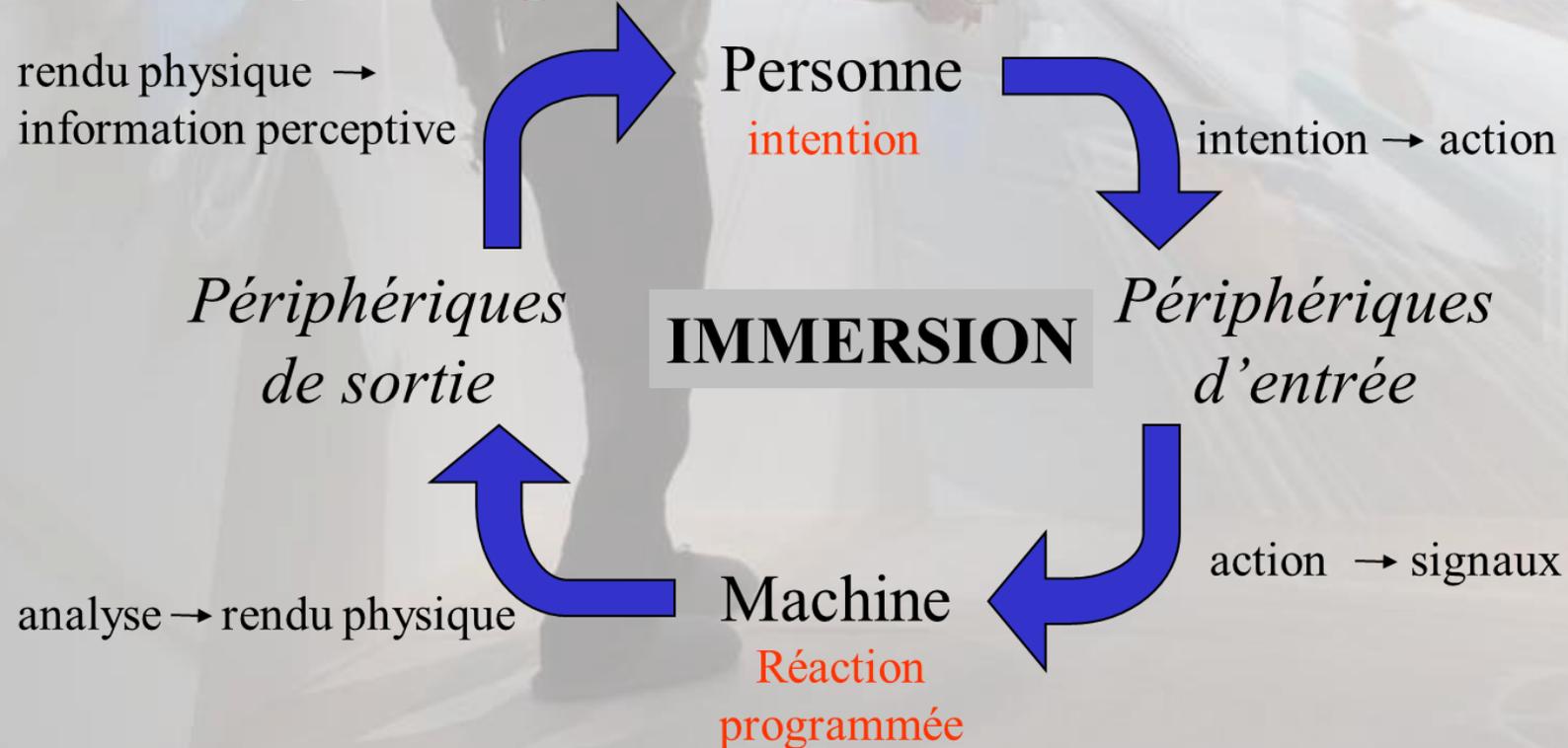
Objectif:

Recréer les sensations du monde réel dans un monde virtuel à partir des dispositifs dédiés.

- *Stéréoscopie*
- *Retour d'effort*
- *Son 3D*
- *Etc.*

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Schéma générique de communication Homme/Machine



adapté de [Bowman et al., 2005]

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Effets indésirables de l'immersion

- Le cerveau anticipe au niveau de la boucle perception/action interne à la personne [Berthoz, 1997]
- S'il existe un petit décalage entre ce que le cerveau anticipe et ce qui se passe (incohérence), **possibilité de mal du simulateur**.
 - *Exemple classique: navigation dans un monde virtuel.*

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

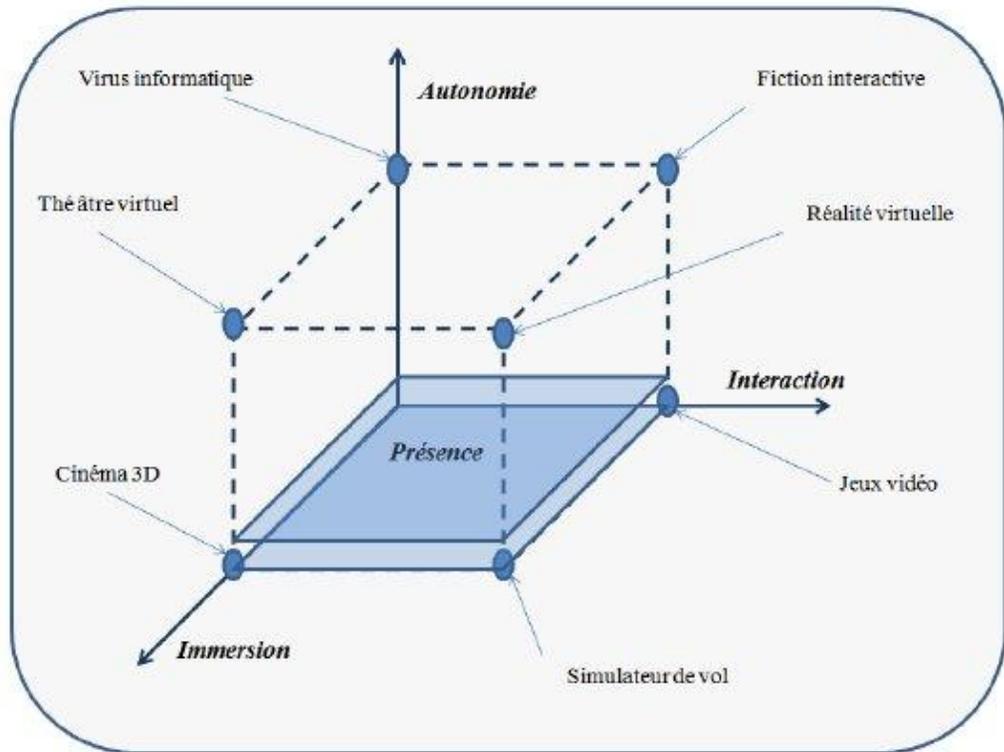
Notion d'autonomie

L'autonomie de la personne réside dans sa capacité à coordonner ses perceptions et ses actions au cours du processus de l'interaction avec les autres entités.

Extrait de [[Ouramdane et al, 2009](#)].

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Présence et autonomie en réalité virtuelle



[Tisseau, 2001]

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Présence et autonomie en réalité virtuelle

Conséquence

- La personne doit être capable de **comprendre intuitivement et d'anticiper l'action qu'elle produit sur le monde virtuel.**
- Sinon, problèmes: **la personne n'accepte pas le système.**

I.2. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS CLÉS DE LA BOUCLE PERCEPTION/ACTION EN RAPPORT AVEC LA RÉALITÉ VIRTUELLE

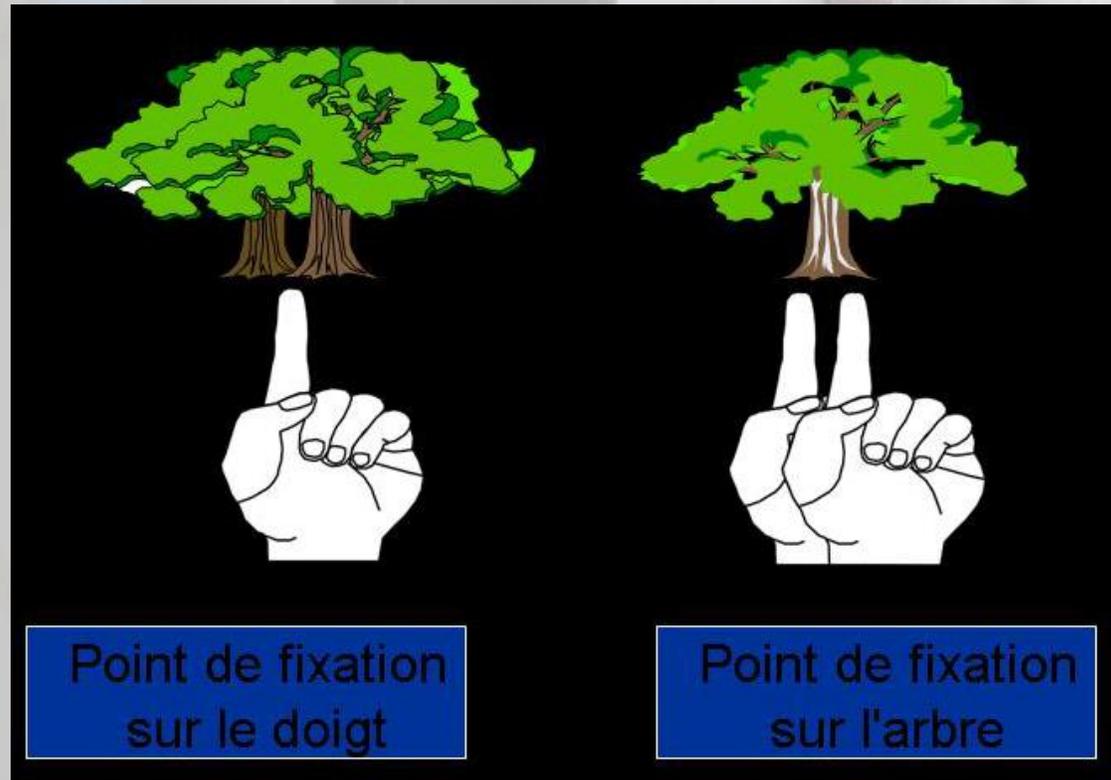
Présence et autonomie en réalité virtuelle

Résumé

- La création d'une méthode d'interaction (I3D) en RV doit tenir compte de tous ces facteurs:
 - Besoin d'Immersion
 - Besoin de Présence
 - Besoin d'Autonomie
 - (Co-)Influence des actions, de la perception et de l'environnement afin de réaliser une tâche en RV/RA le mieux possible.

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie - Principe général



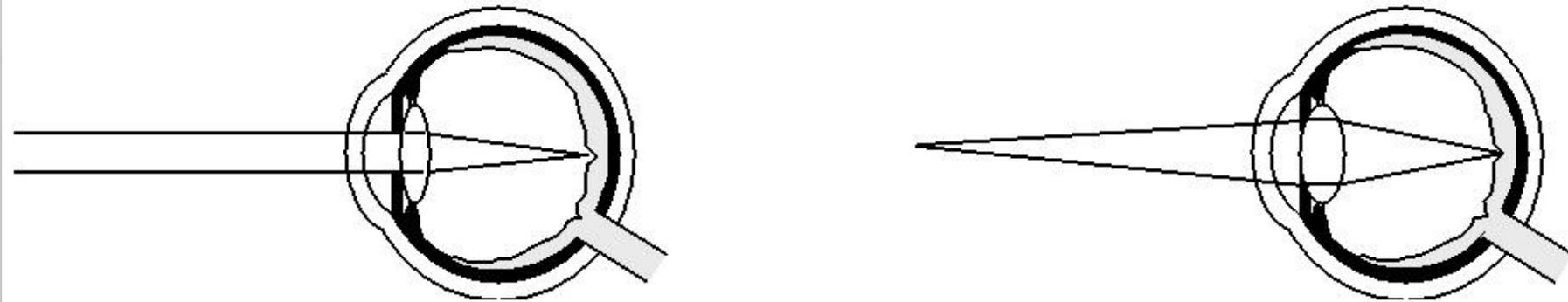
Accomodation

- Point de fixation proche
- Point de fixation lointain

- Je **FIXE** mon doigt proche de mes yeux tout en regardant un arbre lointain
- Je **FIXE** un arbre lointain tout en regardant mon doigt proche de mes yeux

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

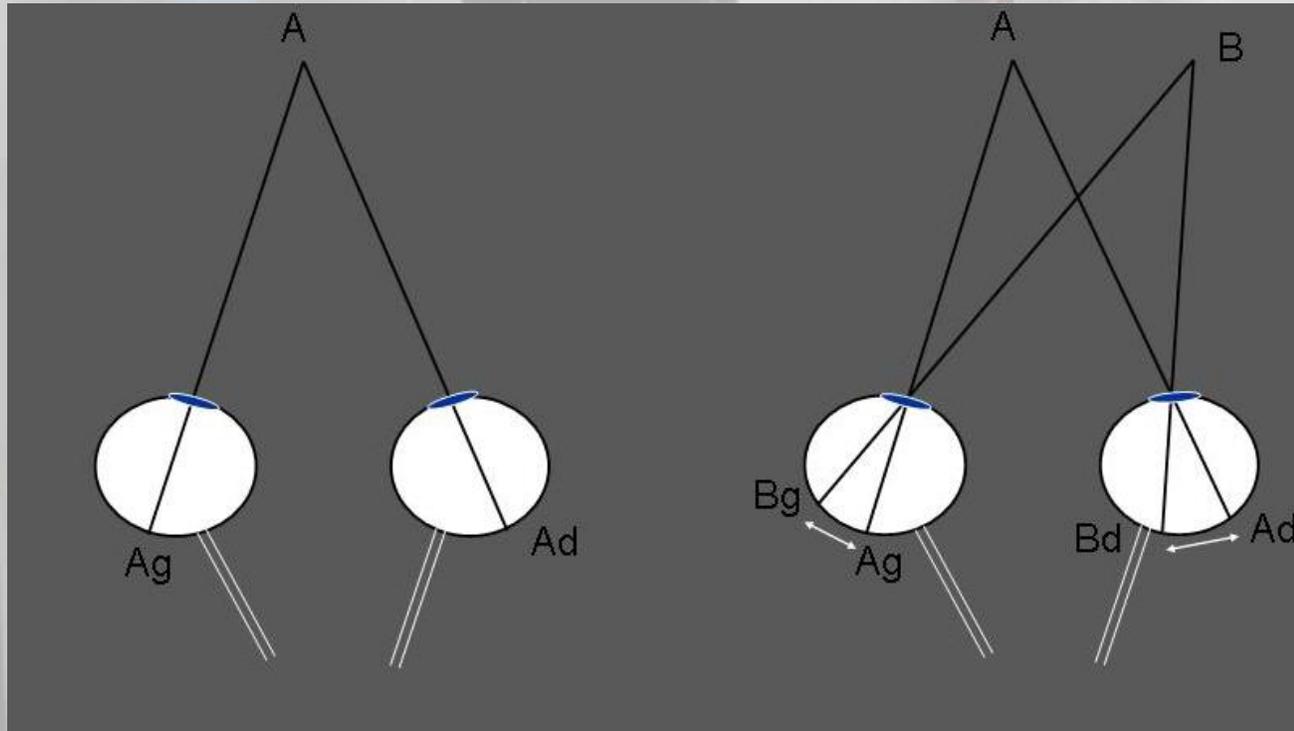
Stéréoscopie - Principe général



Le **mécanisme d'accommodation** se fait grâce à la variation de convergence du cristallin.

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie - Principe général



Disparité rétinienne

Les deux yeux perçoivent des scènes légèrement décalées horizontalement (dû à l'écart inter-pupillaire)

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie - Principe général

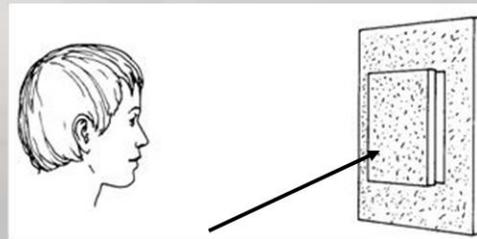
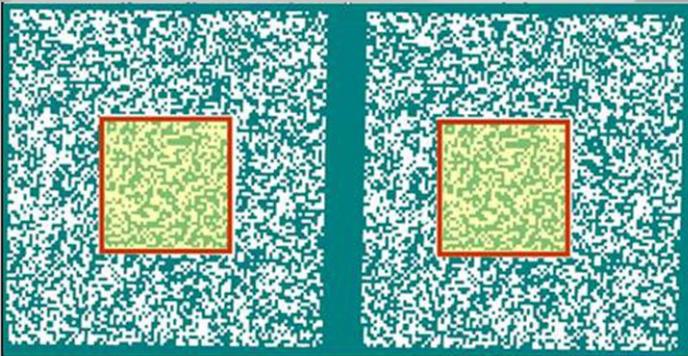
La perception de la profondeur à partir de la **disparité rétinienne** et de l'**accommodation** s'appelle **la stéréoscopie**

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie - Principe général

- La stéréoscopie est issue d'un processus neurologique autonome.
- La construction d'une image en relief n'est pas liée à la perception d'un contenu signifiant en monoculaire

[Julesz, 1971]: Possibilité de perception du relief sans Information monoculaire.



Impression de profondeur

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie - Principe de la stéréoscopie en RV

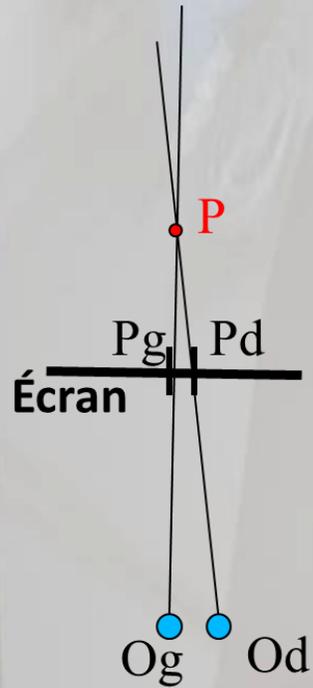


Étapes de création d'une image stéréoscopique grâce à l'ordinateur

1. Création de 2 images, une pour le point de vue de l'œil gauche, l'autre pour le point de vue de l'œil droit, légèrement décalées (restitution de l'écart inter-pupillaire)
2. Mécanisme permettant que l'image pour l'œil gauche ne soit perçue que par l'œil gauche et que l'image pour l'œil droit ne soit perçue que par l'œil droit.
3. Grâce au mécanisme d'accommodation des yeux de la personne, vision d'une seule image avec de la profondeur.

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Calcul du point image



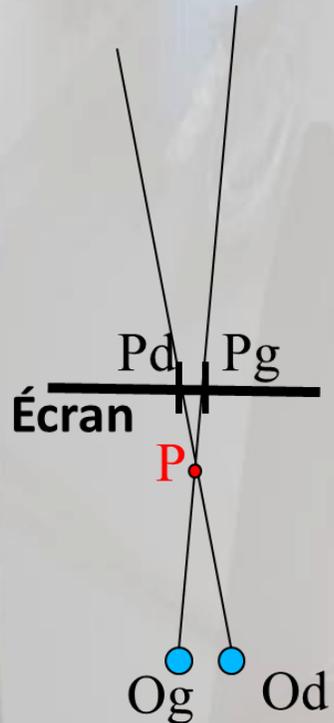
Modélisation

- On assimile l'image pour l'œil gauche à un point ponctuel **Pg** et l'image pour l'œil droit à un point ponctuel **Pd**, sur l'écran.
- On assimile l'œil gauche de la personne regardant l'écran à **Og** et l'œil droit de la personne regardant l'écran à **Od**
- Si on trouve un mécanisme pour que **Og** ne perçoive que **Pg** et **Od** ne perçoive que **Pd** (étape 2), alors le point Image **P** perçu après accommodation (étape 3) se trouve à l'intersection entre la demi-droite **OgPg** et la demi-droite **OdPd**

Dans ce cas, **P** est perçu **derrière** l'écran.

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

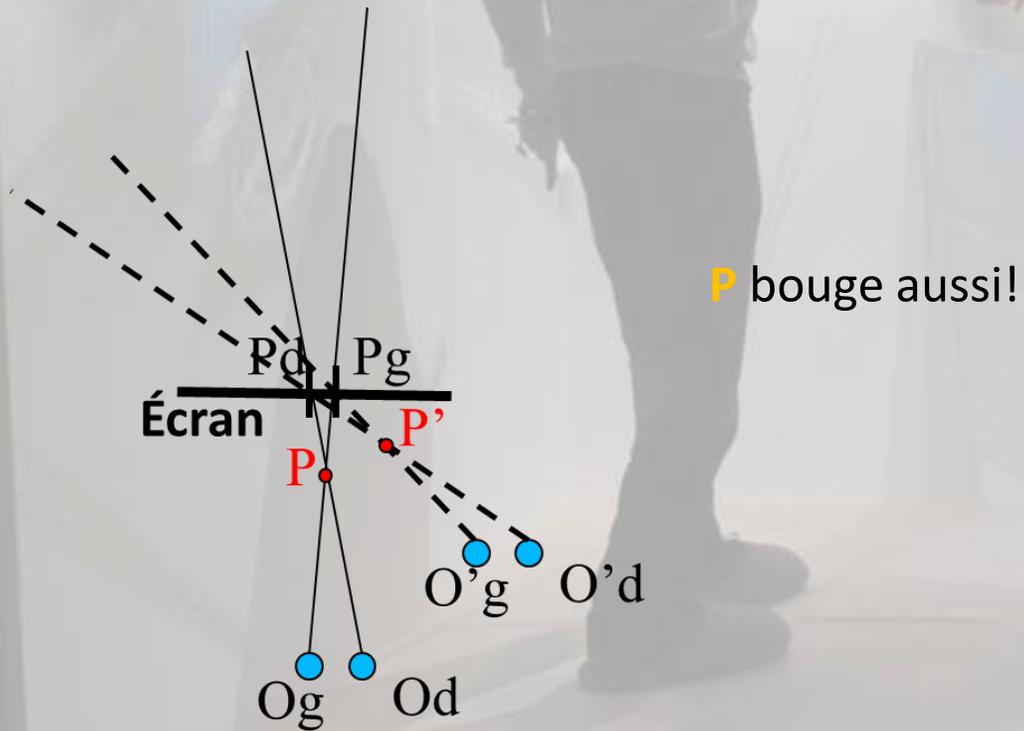
Stéréoscopie – Et si on permute P_g et P_d ?



P est alors perçu devant l'écran.

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Et si la personne bouge devant l'écran ?

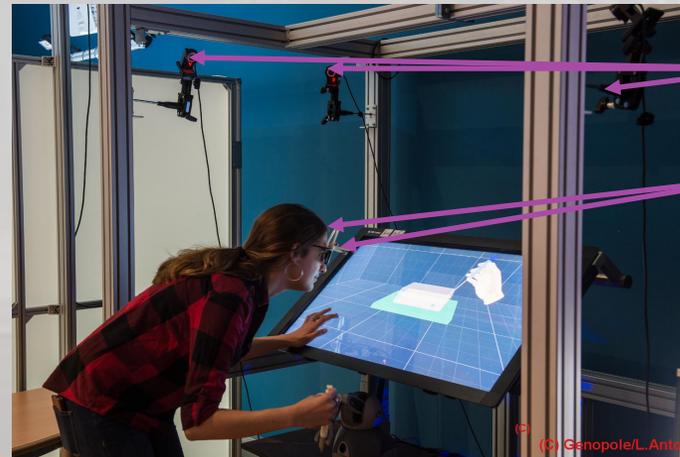
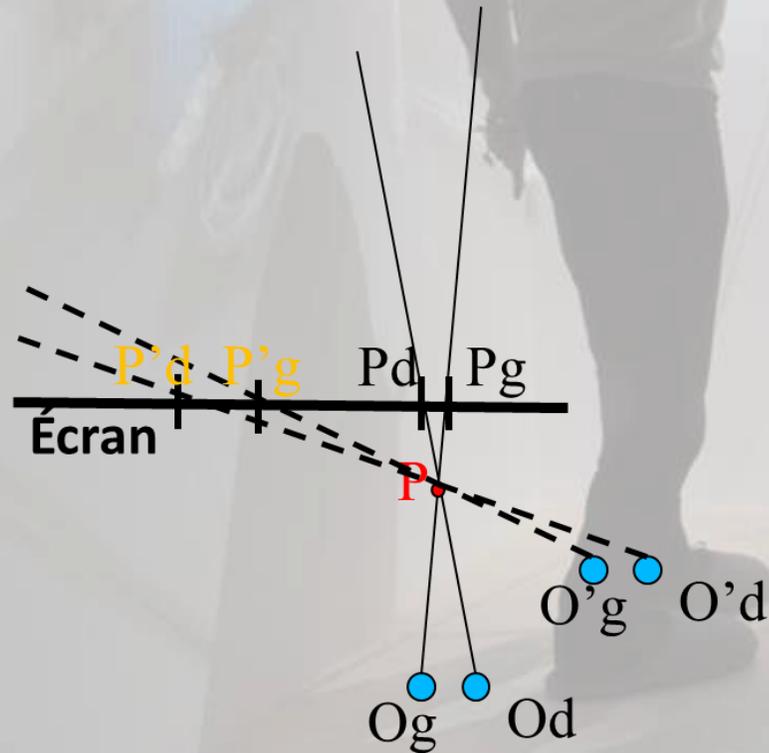


I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Pourtant, P doit resté immobile, donc ...

Pg et Pd doivent bouger lorsque la personne bouge !

Pour cela, la tête de la personne doit être **trackée en temps réel** pour que l'ordinateur rectifie Pg et Pd.



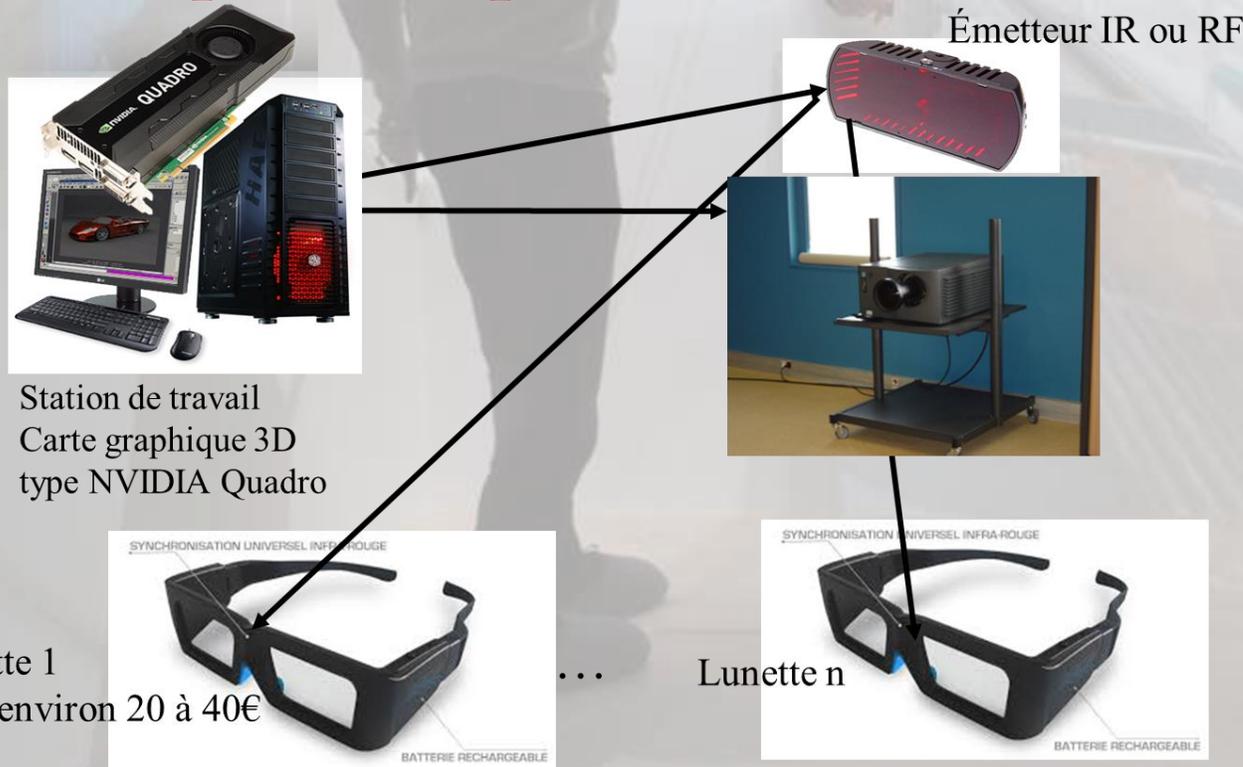
Caméras IR

Lunettes 3d munies de boules réfléchissantes

[[Vidéo](#)]

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Dispositifs de la visualisation par stéréoscopie active



- Format 3D à 120 Hz (60 Hz pour chaque œil)
- Les lunettes sont munies d'une **source d'énergie**
- Elles sont pilotées par le PC, via l'émetteur
- Elles possèdent un système permettant **d'obturer la lunette gauche ou la lunette droite**

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Principe de la visualisation stéréoscopique active

À l'instant t :

- L'ordinateur envoie l'image gauche au projecteur et un signal à l'émetteur pour obturer l'œil droit des lunettes (cristaux liquides)
- Les lunettes reçoivent l'information et l'interprètent via un circuit électronique interne et une source d'énergie.

À l'instant $t+1/2$:

- L'ordinateur envoie l'image droite au projecteur et un signal à l'émetteur pour obturer l'œil gauche des lunettes (cristaux liquides).

À chaque instant, le cerveau ne perçoit qu'une image pour chaque œil.

- Grâce à l'accommodation et au fait que les deux images sont légèrement décalées, les deux images se transforment en une image avec la profondeur (stéréoscopie)

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Dispositifs de visualisation stéréoscopique passive anaglyphe



PC standard

Projecteur monoscopique



Lunette 1
Coût 1 à 5 €

...

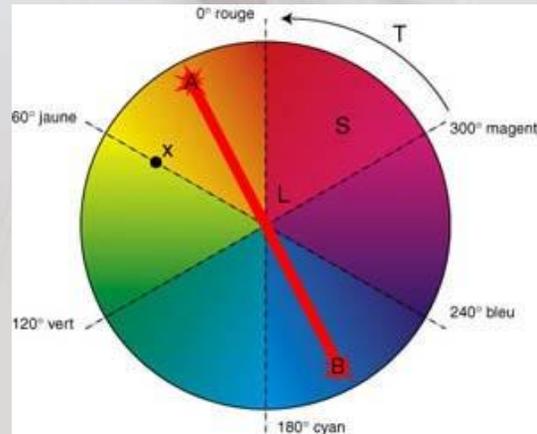
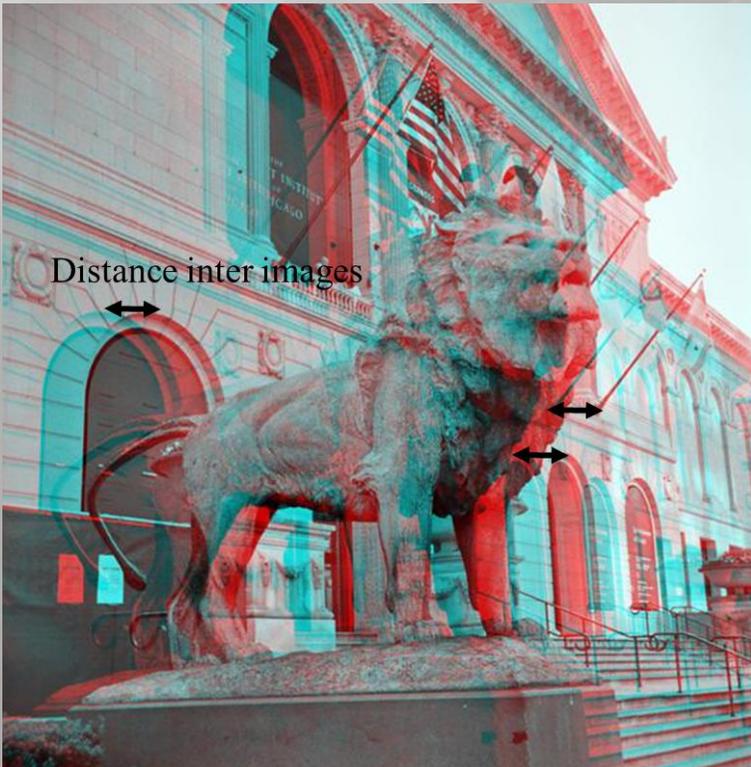


Lunette n
Pas besoin de source
d'énergie.

- Format 3D à 60 Hz
- Les deux type d'images (pour l'œil gauche et Droit) sont projetées en même temps.
- Des images uniques pour chaque œil.
- Images colorisées en rouge pour l'œil gauche
- Images colorisées en cyan pour l'œil droit
- Lunette droite: couleur cyan (vert+bleu)
- Lunette gauche: couleur rouge
- Pas de source d'énergie

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Principe de visualisation stéréoscopique passive par anaglyphe



- Utilisation de **deux couleurs complémentaires** (ici rouge et cyan=vert+bleu).
- Deux images légèrement décalées.
- Le filtre rouge de la lunette gauche permet de filtrer les images destinées à l'œil gauche
- Le filtre cyan (vert+bleu) permet de filtrer les images destinées à l'œil droit
- Donc, en théorie, l'œil gauche ne perçoit que l'image pour l'œil gauche et l'œil droit ne perçoit que l'image pour l'œil droit

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Dispositifs de visualisation stéréoscopique passive anaglyphe



PC standard
+ synchronisation des 2 flux vidéo



+Filtre polarisant horizontal
+Filtre polarisant vertical

Projecteurs monoscopiques

+ écran de projection métallisé



Lunette polarisée (horizontal/vertical) ...
Coût environ 3 à 15 €

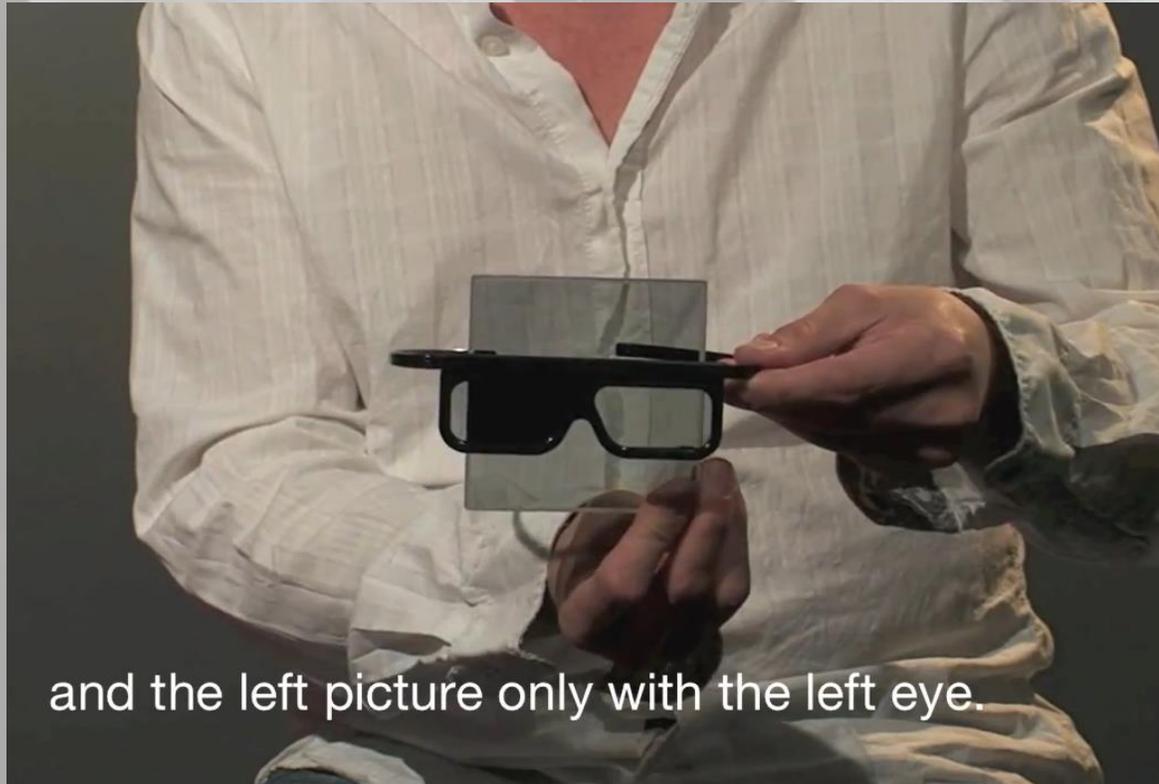


Lunette n
Pas besoin de source d'énergie.

- Format 3D à 60 Hz
- Les deux type d'images (pour l'œil gauche et l'œil droit) sont projetées en même temps.
- Des images uniques pour chaque œil.
- Images filtrées par un filtre polarisées horizontalement pour l'œil gauche
- Images filtrées par un filtre polarisées verticalement pour l'œil droit
- Lunette droite: filtre polarisé verticalement
- Lunette gauche: filtre polarisé horizontalement
- Pas de source d'énergie

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

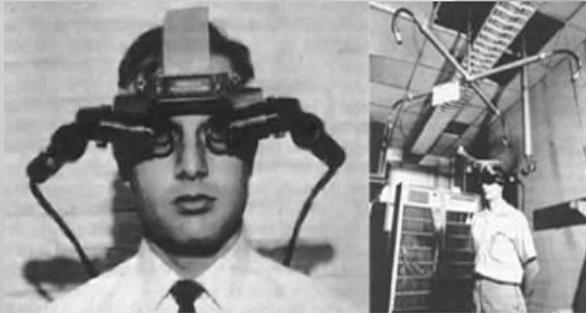
Stéréoscopie – Principe de la visualisation stéréoscopique passive anaglyphe



- Utilisation de **deux filtres complémentaires** (les polarisations des deux filtres sont mutuellement exclusives). Dans ce cas, si on met les deux filtres l'un après l'autre, la lumière ne passe pas: c'est noir (voir photo ci-contre)
- Deux images légèrement décalées.
- Le filtre polarisé horizontalement de la lunette gauche permet de filtrer les images du projecteur dont le filtre est identique et ne laisse pas passer la lumière de l'autre projecteur avec filtre complémentaire.

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Casque de Réalité Virtuelle



Ultimate Display, 1968

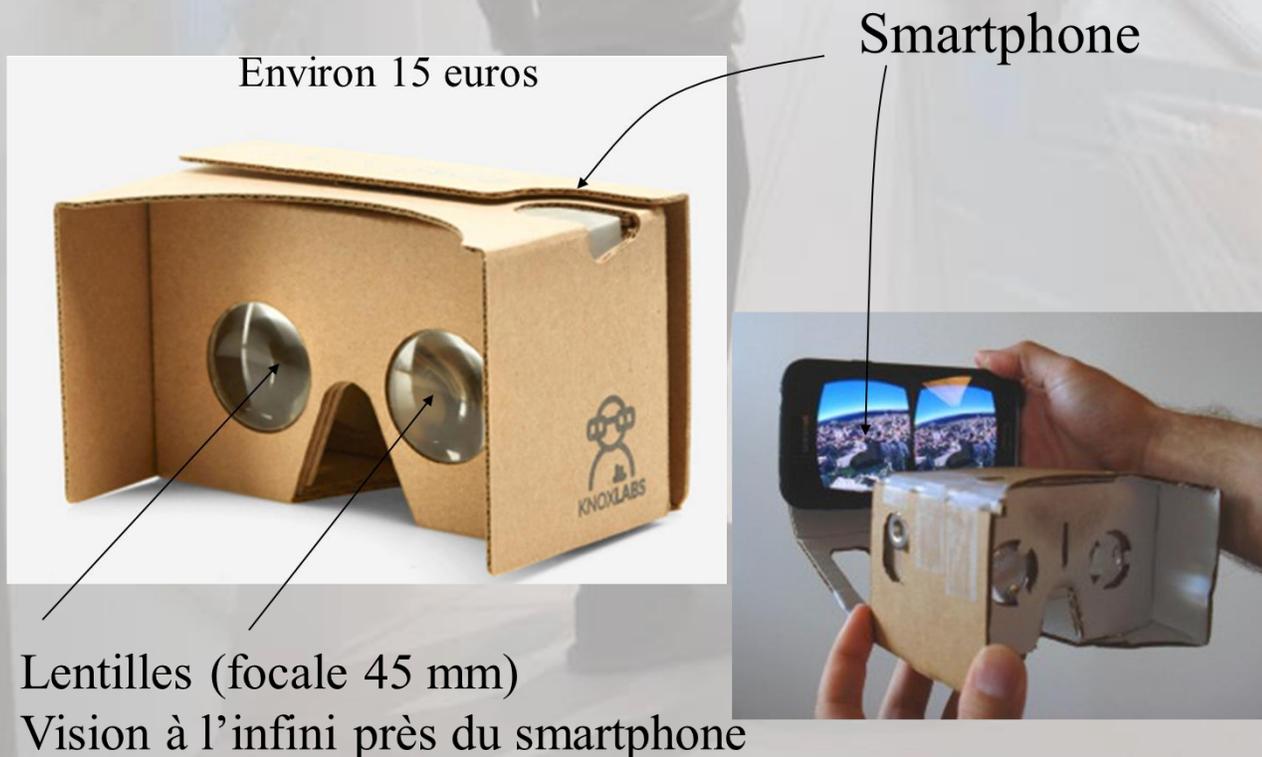


Oculus Quest 2, 2020

- **Dispositif immersif**
- Format 3D au moins 60 Hz
- 1 à 2 écrans intégrés.
- 2 images affichées « en même temps »
- Séparation naturelle (physique) entre l'image destinée à l'œil gauche et l'image destinée à l'œil droit.
- Images légèrement décalées entre l'œil gauche et l'œil droit.
- Capteur(s) afin de repérer la position et l'orientation de la tête de l'utilisateur (gyroscopes, accéléromètres, caméras IR, caméras RGB, Laser, etc.)

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Google CardBoard



- Capteurs: capteurs du Smartphone (gyroscope, accéléromètre, etc.)
- Pas de contrôleur associé.
- La personne portant le casque ne perçoit pas le monde réel

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Oculus Rift DK2 (2015)



Caméra IR de positionnement

- Carte graphique minimum : Nvidia GTX 970
- 1 port HDMI (casque)
- 1 ports USB 2 (caméra IR)
- 1 port USB 3 (casque)
- Pas de contrôleur associé!**
- La personne portant le casque ne perçoit pas le monde réel**

Résolution	1920 × 1080
Poids	440g
FOV	100°
Capteurs positionnels	Caméra infrarouge
Capteurs	Gyroscope, accéléromètre, magnétomètre
Date de sortie	Juillet 2015
Résolution par oeil	960 × 1080
OS	Windows / Linux / OSX
Type d'écran	AMOLED
Prix recommandé	350.00\$
Connectiques	USB 2.0 / HDMI 1.4b
Coloris	Noir
Audio	Aucun
Fabricant	Oculus
Fréquence	75Hz

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Oculus Rift (2016)



- Carte graphique minimum : Nvidia GTX 1050Ti
- 1 port HDMI 1.3 (casque)
- 1 port USB 3 (casque)
- 2 port USB2 (caméras IR)
- **Contrôleur associé: Oculus touch**
- ☐ **La personne portant le casque ne perçoit pas le monde réel**



2 ou 3 Caméras IR de positionnement

Résolution	2160 x 1200
Poids	470g
FOV	110° (non confirmé)
Capteurs positionnels	Caméra infrarouge "Constellation"
Capteurs	Gyroscope, accéléromètre, magnétomètre
Date de sortie	28 mars 2016
Résolution par oeil	1080 x 1200
OS	Windows 7 ou supérieur
Type d'écran	OLED
Prix recommandé	699€
Connectiques	HDMI / USB
Coloris	Noir
Audio	Casque audio intégré détachable
Fabriqueur	Oculus
Fréquence	90 Hz

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Oculus Rift-S (2019)



- ❑ La personne portant le casque perçoit le monde réel si nécessaire
- ❑ Gestion des obstacles dans le monde réel

- Carte graphique minimum : Nvidia GTX 1050Ti
- 1 port DisplayPort (casque)
- 1 port USB 3 (casque)
- **Contrôleur associé: Oculus touch**
- Utilisation de 5 caméras intégrées dans le casque :
 - évite les caméras IR extérieures
 - permet de visualiser les obstacles dans le monde réel
- Détection d'obstacles dans le monde réel grâce à la fonction Passthrough

Résolution	2560 x 1440
Poids	563g
FOV	110°
Capteurs positionnels	5 caméras intégrées au casque
Détection d'obstacles dans le monde réel	Fonction passthrough
Capteurs	Gyroscope, accéléromètre
Date de sortie	18/05/2019
Résolution par œil	1280 x 1440
OS	Windows 10
Type d'écran	dalle LCD unique
Prix recommandé	449 €
Connectiques	DisplayPort / USB 3
Coloris	Noir
Audio	Casque audio intégré détachable
Fabricant	Oculus
Fréquence	80 Hz

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Oculus Quest (2019)



- ❑ Casque autonome, avec ordinateur intégré
- ❑ Autonomie : 2 heures
- ❑ Interaction possible avec les mains
- ❑ **La personne portant le casque perçoit le monde réel si nécessaire**
- ❑ **Gestion des obstacles dans le monde réel**

- 1 port Oculus Link Beta (relie le casque à un PC)
- 1 port USB-C pour la recharge du casque
- Contrôle grâce à Oculus Touch et grâce à la reconnaissance des mains
- Utilisation de 4 caméras intégrées dans le casque :
 - évite les caméras IR extérieures
 - permet de visualiser les obstacles dans le monde réel
- Détection d'obstacles dans le monde réel grâce à la fonction Oculus guardian

Résolution	3200 x 1440
Poids	571g
FOV	110°
Processeur	Qualcomm Snapdragon 835
Temps de recharge	2 heures
Capteurs positionnels	4 caméras intégrées au casque en façade (vision à 180°)
Détection d'obstacles dans le monde réel	Oculus Guardian
Capteurs	Gyroscope, accéléromètre
Date de sortie	21/05/2019
Résolution par œil	1600 x 1440
OS	IOS, Android
Type d'écran	dalle OLED
Prix recommandé version 65Go	449 €
Connectiques	Wifi, Bluetooth, Oculus Link Beta
Coloris	Noir, Blanc
Audio	2 prises jack intégrées
Fabriqueur	Oculus
Fréquence	72 Hz

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Dispositif CAVE



Définition :

CAVE : (Cave Automatic Virtual Environment)

- Système immersif : la personne est entourée par l'image synthétique.
 - Plusieurs écrans de projection
 - Vision stéréoscopique
- La personne est en immersion et voit son propre corps.
- Plusieurs personnes peuvent partager naturellement le même environnement virtuel et collaborer.

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Dispositif CAVE



[\[Vidéo \(ancienne\)\]](#)

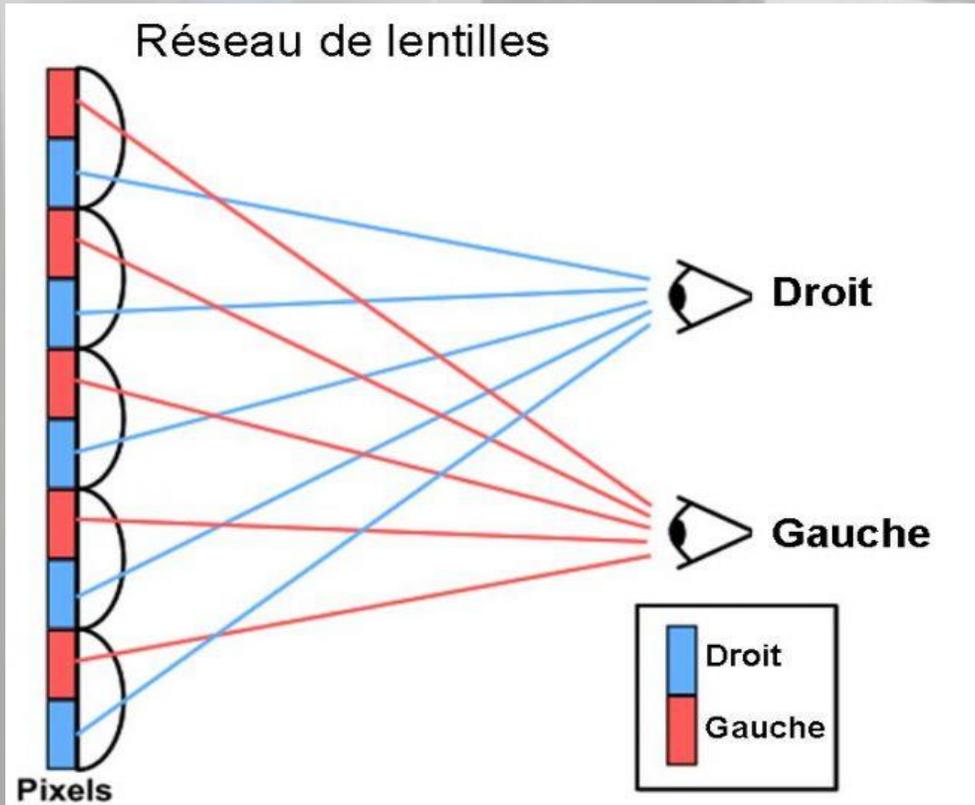
Exemple :

Star Cave UC San Diego

- Système immersif : la personne est entourée par l'image synthétique.
 - Plusieurs écrans de projection
 - Vision stéréoscopique
- La personne est en immersion et voit son propre corps.
- Plusieurs personnes peuvent partager naturellement le même environnement virtuel et collaborer.

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Système auto-stéréoscopique



Plusieurs vues disponibles sur l'écran
(28 vues sur dalle 4K auto
stéréoscopique) réseaux lenticulaires.

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Impression de 3D par suivi de point de vue



VR Display (with head tracking)

- ❑ Système de tracking de la personne basé sur Wimote (John Lee, 2007)
- ❑ Le mouvement de la personne devant l'écran fait ressortir la profondeur des objets virtuels
 - 3D from Motion.
 - Fonctionne très bien car les objets sont très texturisés.

[[Vidéo](#)]

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Stéréoscopie – Impression de 3D par suivi de point de vue



- ❑ Système de tracking de la personne basé sur une Kinect + une TV 3D
- ❑ Le mouvement de la personne devant l'écran fait ressortir la profondeur des objets virtuels
 - 3D from Motion.
 - Fonctionne moins bien que l'exemple précédent car les objets sont moins texturisés.

[[Vidéo](#)]

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Tracking – Principe

Objectif: Suivi de mouvement en 3D

- Suivi d'un point 3D dans l'espace réel et association avec un point 3D dans l'environnement virtuel
- Plus généralement, suivi d'un ensemble de points 3D dans l'espace et association avec un ensemble de points 3D dans l'environnement virtuel

Comment ?

- Avec l'aide de capteurs : caméras Infra-Rouge/boules réfléchissantes, marqueurs, gyroscopes, accéléromètres, encodeurs, caméras RGB

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

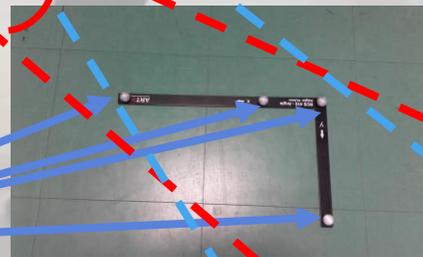
Tracking – Caméras Infra-Rouge et marqueurs – Exemple du système ARTTrack



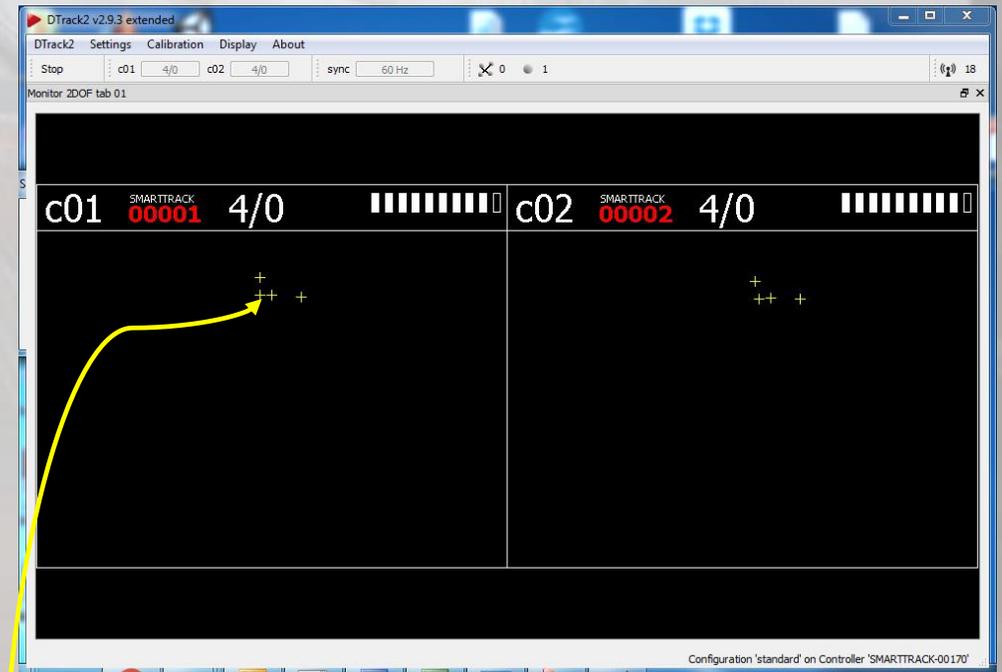
2 caméras ARTTrack1
C01 et C02 synchronisées

Mesures caméras:

- Emission d'un signal IR selon un cône d'environ 30°
- Puis réception d'un signal réfléchi par les boules réfléchissantes.



4 boules réfléchissantes



Les 4 boules réfléchissantes sont captées par les 2 caméras C01 et C02 (logiciel DTRACK)

On connaît leurs positions 2D dans le repère des 2 caméras

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Tracking – Caméras Infra-Rouge et marqueurs – Exemple du système ARTTrack



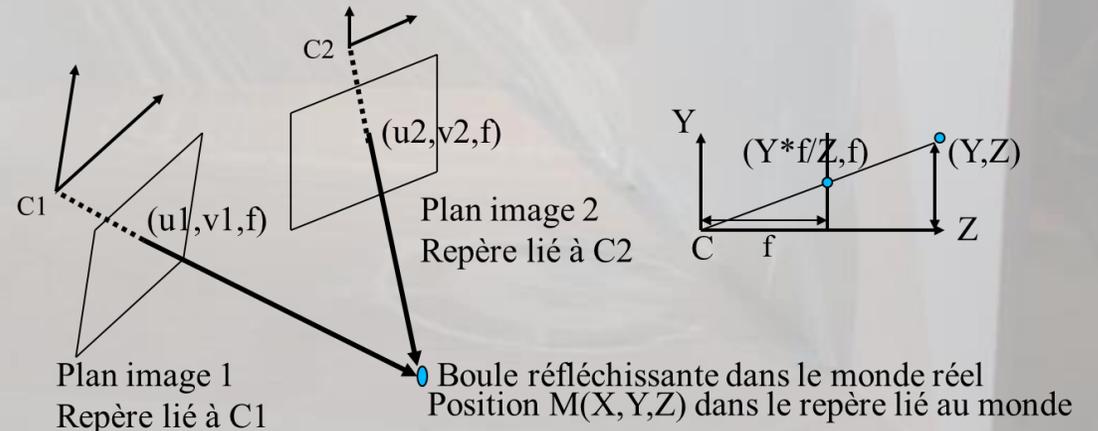
2 caméras ARTTrack1
C01 et C02 synchronisées

4 boules réfléchissantes



À partir des positions 2d des caméras, comment obtenir les positions 3d des boules réfléchissantes ?

- Il faut connaître les paramètres intrinsèques des caméras (focale f) : données constructeur fournies sur le système ARTTrack.
- Il faut connaître les paramètres extrinsèques des caméras (position et orientation des caméras dans le repère du monde : Matrices de passage $R1$ et $R2$ à déterminer entre $[(u1,v1,f),(u2,v2,f)]$ et $M(X,Y,Z)$ à déterminer.

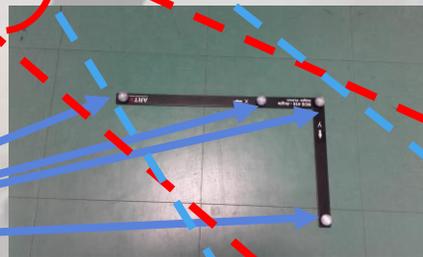


I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Tracking – Caméras Infra-Rouge et marqueurs – Exemple du système ARTTrack



2 caméras ARTTrack1
C01 et C02 synchronisées



4 boules réfléchissantes

Avant de connaître précisément les matrices $R1$ et $R2$:

- On ne peut pas connaître la position (X,Y,Z) d'une boule réfléchissante dans l'espace réel.
- On ne peut pas associer une position dans l'espace réel avec une position dans l'espace virtuel.

Pour connaître précisément les matrices $R1$ et $R2$:

- ❑ Il faut effectuer une calibration des caméras $C11$ et $C02$
 - Déterminer $R1$ et $R2$

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

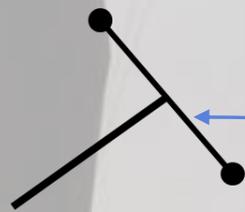
Tracking – Caméras Infra-Rouge et marqueurs – Exemple du système ARTTrack



2 caméras ARTTrack1
C01 et C02 synchronisées

Procédure de calibration des caméras C01 et C02 :

- Utilisation d'un repère dont les distances entre boules sont connues.
 1. Placer le repère au point Origine souhaité en faisant attention au sens du repère (Ox, Oz) (faire attention à ce que les 5 points du repère soient trackés par les deux caméras)
 2. Balayer l'espace de travail par **une tige de longueur connue terminée par deux boules réfléchissantes**, qui doivent être trackées à tout moment par les deux caméras.
 3. Pendant ce temps, récupérer tous les points 2d des caméras C01 et C02.



O=origine dans le repère du monde
Axes Z et X dans le repère du monde

L'ensemble des données recueillies permet de déterminer R1 et R2 avec une précision donnée, qui dépend de la phase de calibration.

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Tracking – Caméras Infra-Rouge et marqueurs – Exemple du système ARTTrack

Après la procédure de calibration des caméras C01 et C02 :

- Précision en position entre 0,2 et 0,3 millimètres
- Tracking d'objets rigides munis de plusieurs boules réfléchissantes (au moins 4)
 - Position et orientation de l'objet (précision $< 1^\circ$ après calibration)
 - Tracking de tête
 - Tracking de la main
- Les objets trackés se différentient par la géométrie des boules réfléchissantes.
- Besoin de calibrer les différents objets trackés pour apprendre à les différencier.

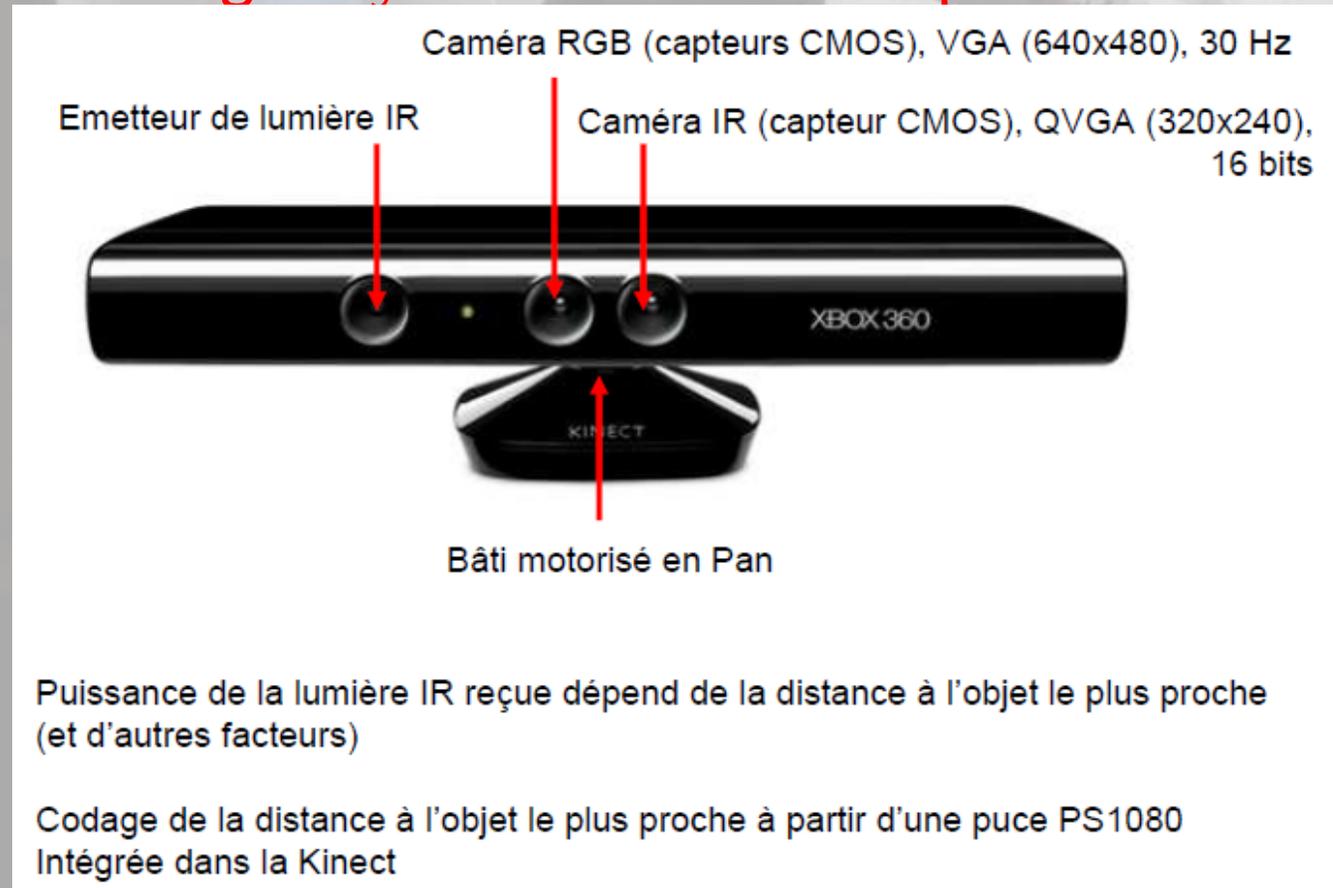


Flystick1 à 5 boules réfléchissantes

Lunette 3d Volfoni Edge, munie de 6 boules réfléchissantes

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Tracking – Systèmes sans marqueurs – Exemple du système Kinect



Kinect v1 (2010-2017)

- Capteurs
 - profondeur (Infra-Rouge IR)
 - image RGB
 - microphone
- Effecteurs
 - moteur du bâti (rotation 1D)
- IR (bas niveau)
 - grille 2D profondeurs (320x240 pixels)
 - image 2D RGB (640x480 pixels)
- IR (haut niveau)
 - suivi de mouvement (24 points et positions angulaires) sur le corps humain

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Tracking – Systèmes sans marqueurs – Exemple du système Kinect

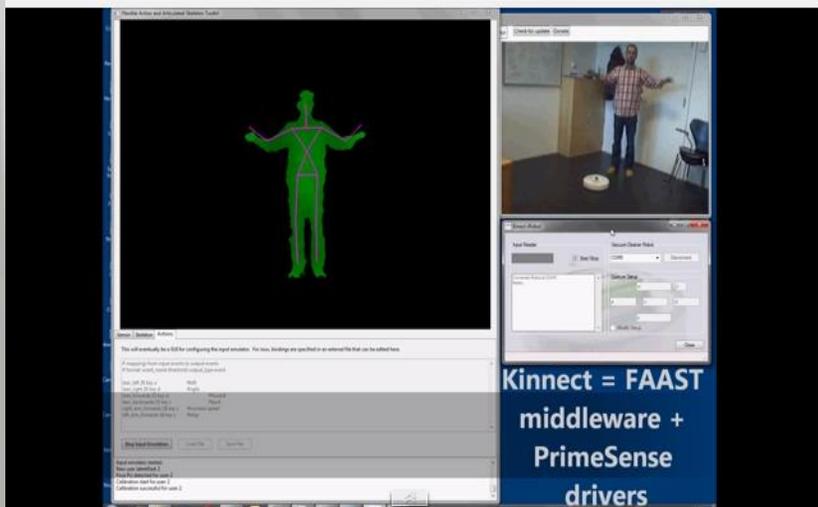
Sensor	Joint	Sensor	Joint
0	Head	12	Right Elbow
1	Neck	13	Right Wrist
2	Torso	14	Right Hand
3	Waist	15	Right Fingertip
4	Left Collar	16	Left Hip
5	Left Shoulder	17	Left Knee
6	Left Elbow	18	Left Ankle
7	Left Wrist	19	Left Foot
8	Left Hand	20	Right Hip
9	Left Fingertip	21	Right Knee
10	Right Collar	22	Right Ankle
11	Right Shoulder	23	Right Foot

- Squelettisation de 1 à 4 personne devant la Kinect
- Fréquence du capteur : 30 Hz
- Portée du capteur : 1 mètre à 4 mètres
- Précision : plusieurs centimètres d'imprécision, données aberrantes fréquentes
- Logiciels interface sur PC
 - [FAAST \(Flexible Action and Articulated Skeleton Toolkit\)](#)
 - Production d'événements clavier/souris
 - Base de gestes associés à la production d'événements clavier/souris
 - [Unity3d](#)

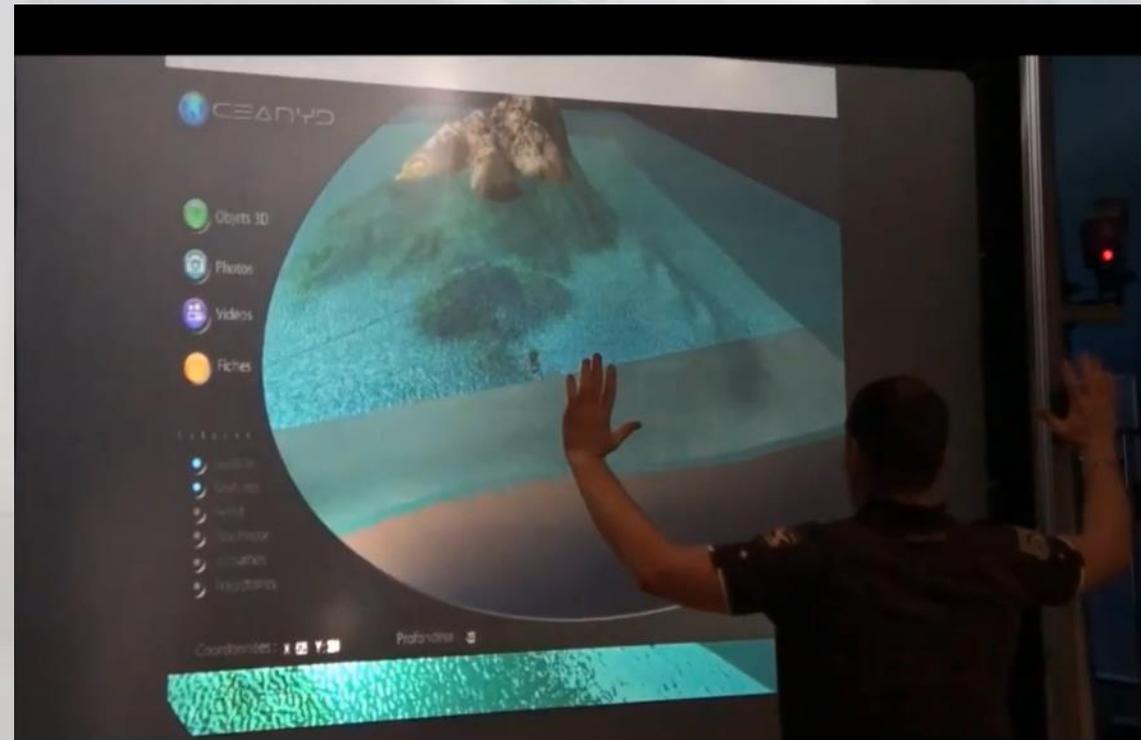
I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Tracking – Systèmes sans marqueurs – Exemple du système Kinect

- FAAST/Kinect interagit avec un logiciel de cartographie marine (projet Digital Ocean)



Logiciel FAAST

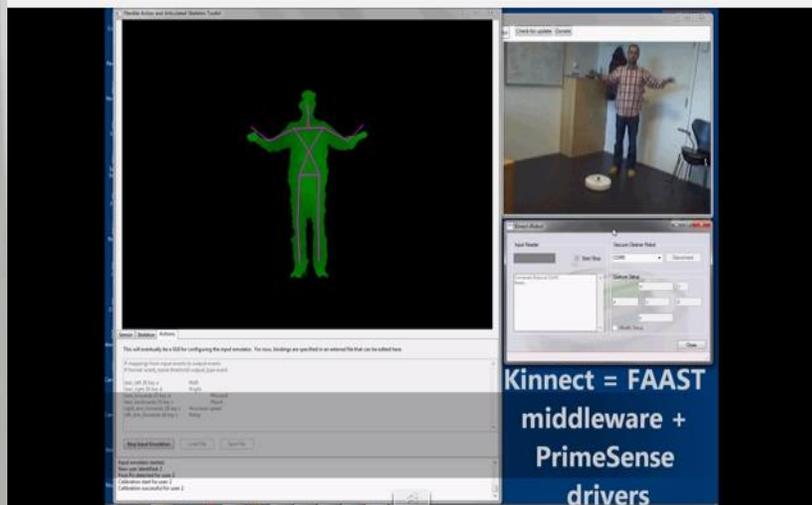


[Vidéo]

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Tracking – Systèmes sans marqueurs – Exemple du système Kinect

- FAAST/Kinect interagit avec un logiciel de gestion du robot NAO



Logiciel FAAST

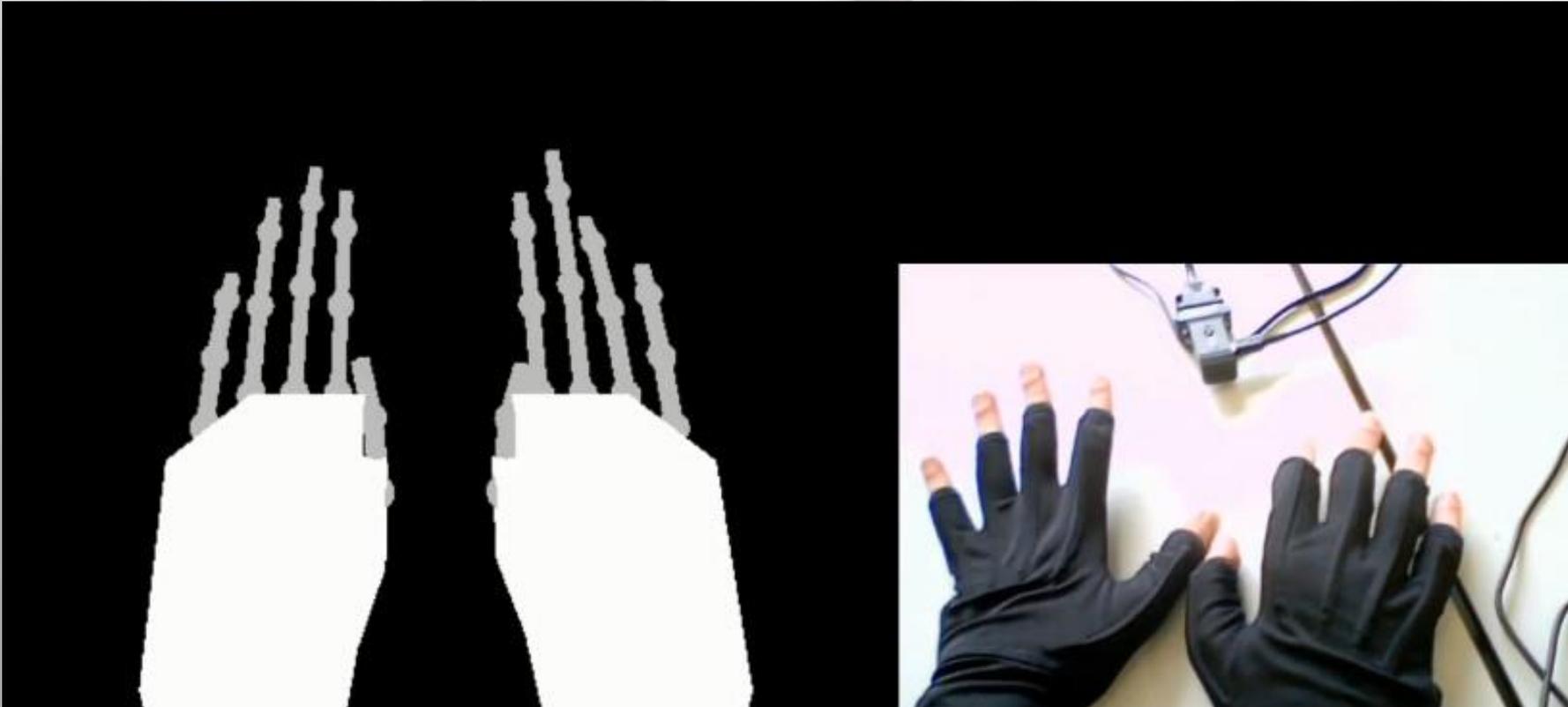


□ Contrôle d'application

[[Vidéo](#)]

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Tracking – Périphériques de tracking de l'avant bras et de la main



- Gants de données 5DT 5 et 14 Ultra
 - 5 ou 14 positions angulaires de phalanges par main

[[Vidéo](#)]

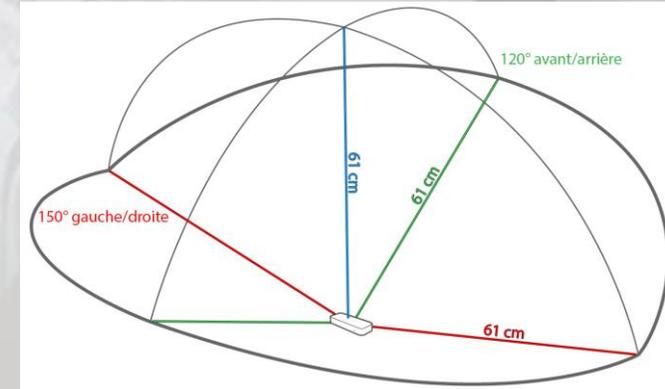
I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Tracking – Périphériques de tracking de l'avant bras et de la main



- ❑ LeapMotion (2010-)
 - Connectique: port USB 2
 - Synthétisation 3D des images 2D prises par les deux caméras
 - Précision spatiale de 0,01 mm
 - Fréquence de base: 200 Hz
 - Mais perturbé par les sources externes de lumière infrarouges

- Deux caméras monochromatiques forment une paire stéréo
- 3 LED infrarouge éclairent l'environnement



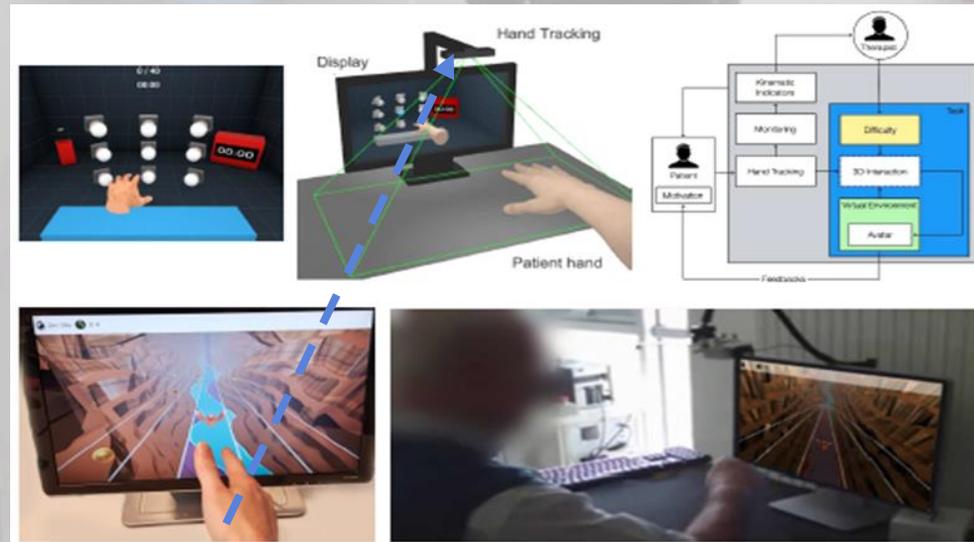
Portée des caméras IR de la LeapMotion



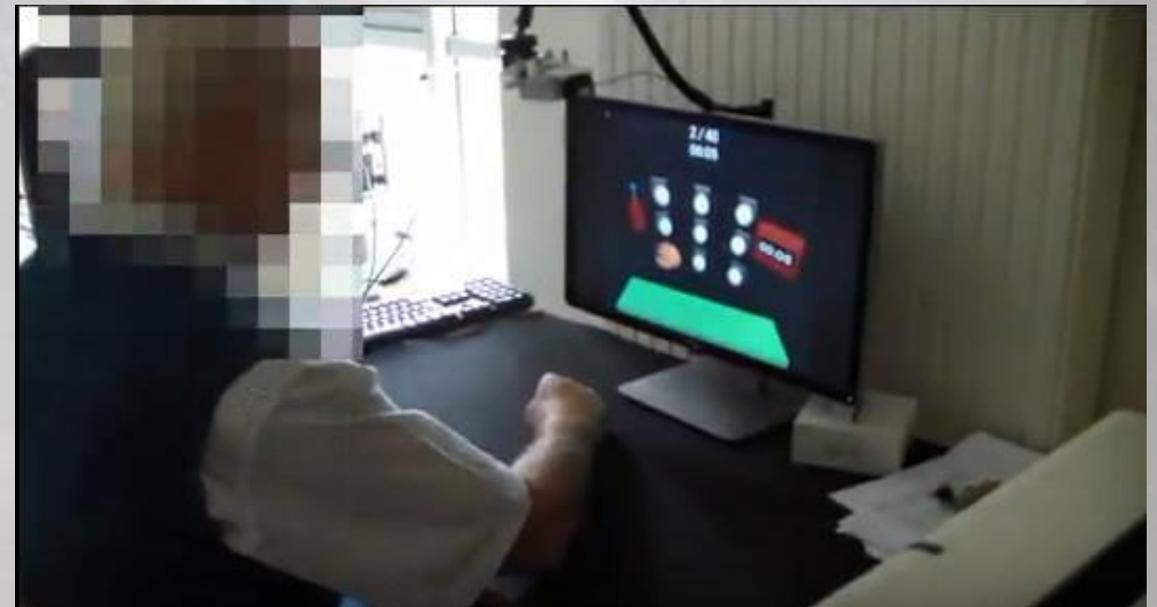
2 images issues des caméras IR de la LeapMotion

I.3. FONDEMENT DE LA NOTION D'INTERACTION: PASSAGE DU RÉEL AU VIRTUEL

Tracking – Périphériques de tracking de l'avant bras et de la main



□ La LeapMotion dans le projet CESAAR-AVC 2016-2020



[[Vidéo du projet CESAAR-AVC](#)]