



Contribution à l'étude des techniques d'interaction 3D pour la manipulation d'objets avec retour haptique en environnement virtuel à échelle humaine

Université d'Angers – Laboratoire Presence & Innovation

Lionel Dominjon

Rapporteurs : S. Coquillart et P. Fuchs

Examineurs : B. Arnaldi, G. Casiez, A. Lécuyer, J. Perret, S. Richir, H. Samier

Contexte de l'étude

- **Retour haptique :**

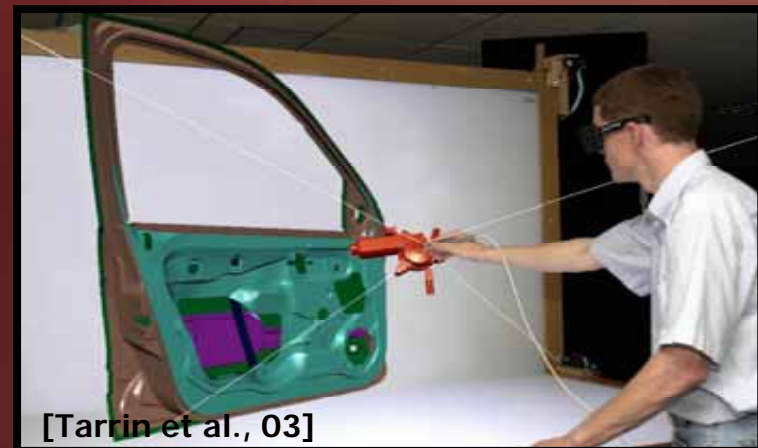
retour sensoriel « *lié au sens du toucher* » [Hogan, 96]

- **Besoin de retour haptique :**

- *Industrie* : simulation d'assemblage (forces de contacts...)
- *Médecine* : docking moléculaire (forces de cohésion)...
- *Visualisation scientifique* : "haptisation" de données...

- **Environnement Virtuel à Échelle Humaine (EVEH) :**

Environnement virtuel restitué avec des dimensions du même ordre de grandeur que la taille ou hauteur d'un homme

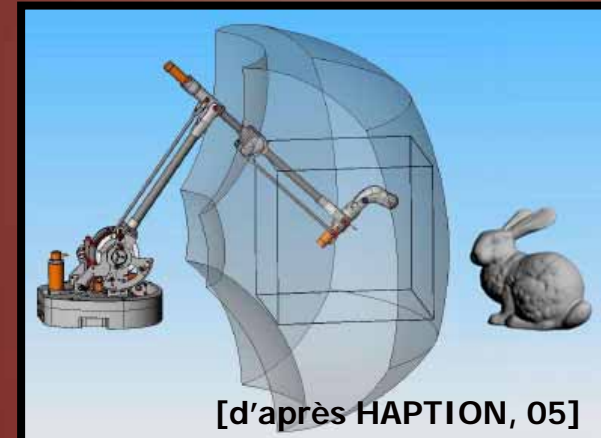
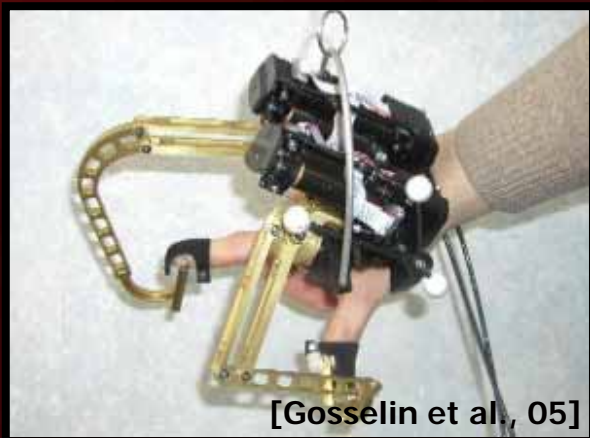


[Tarrin et al., 03]

Interfaces haptiques pour l'échelle humaine

- **Solutions actuelles**

- Interfaces portables : exosquelettes, poignées, etc.
- Interfaces à base fixe : interfaces à câbles, bras, etc.



- **Limitations actuelles**

- Grand espace de travail → grande structure mécanique
 - → problèmes d'encombrement
 - → problèmes de rigidité
 - → problèmes de transparence
- Certaines applications nécessiteront toujours de travailler au-delà des butées

Techniques d'interaction

- **Technique d'interaction [Foley et al., 90] :**

scénario d'utilisation d'une interface matérielle permettant à l'utilisateur d'accomplir une tâche précise dans un environnement virtuel

- **Débrayage (*clutching*)**

- + phases de manipulation isomorphes [Knight, 87]
- lenteur [Zhai et al., 96]
- interaction discontinue



- **Amplification (*scaling*)**

- + interaction continue
- dégradation précision [Zhai et al., 98]



Problématique générale

- « *La sélection et la manipulation en environnements virtuels restent un problème ouvert* » [Coquillart, Fuchs et al., 2006]

- **→ Évaluation et développement de techniques d'interaction permettant de manipuler des objets virtuels au-delà de l'espace de travail de l'interface haptique utilisée**

Plan de la présentation

- **Introduction générale**

- **Etude préliminaire :**
Influence du Control/Display ratio

- **Concept du Contrôle Hybride Haptique (CHH)**

- **Application du CHH aux translations :**
la "Bubble" Technique

- **Application du CHH aux rotations :**
les Rotations Hybrides Haptiques

- **Conclusions et perspectives**

**Étude préliminaire :
Influence du C/D ratio sur la perception
de la masse des objets manipulés en EV**



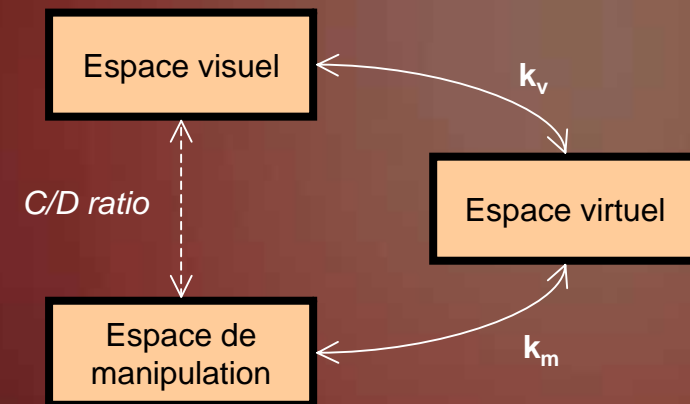
Objectifs

- **Constat :**

- Techniques d'interaction basées sur une modification du gain de manipulation k_m
- Modification du *Control/Display ratio*

- **C/D Ratio :**

$$CDR = \frac{mvt_main}{mvt_objet_manipulé} = \frac{1}{k_v \cdot k_m}$$



- **Objectif de l'étude préliminaire :**

- Influence d'un C/D ratio différent de 1 sur la perception haptique des objets virtuels?
- Focalisation sur la perception de la masse des objets virtuels

Influence C/D ratio



- **Tâche expérimentale :**
 - Discrimination de masse entre deux balles virtuelles
 - Variables :
 - Masse de la balle de comparaison
 - C/D ratio de la balle de comparaison
- **Trois expériences :**
 - Retrait d'informations haptiques
 - Expérience 1 : masse simulée sous l'action de la gravité
 - Expérience 2 : masse simulée sans gravité
 - Expérience 3 : pas de masse simulée

$$\begin{cases} \vec{R}_{balle \rightarrow main} = m_{balle} \cdot \vec{g}_{réel} + m_{sim} \cdot (\vec{g}_{sim} - \vec{a}_{sim}) - (m_{phant} + m_{balle}) \cdot \vec{a}_{réel} \\ k \cdot (\vec{x}_{sim} - \vec{x}_{réel}) - \alpha \cdot (\vec{v}_{sim} - \vec{v}_{réel}) = m_{sim} \cdot (\vec{g}_{sim} - \vec{a}_{sim}) \end{cases}$$

- **Hypothèses :**
 - Hypothèse 1 : un faible C/D ratio induit la perception d'une masse plus faible
 - Hypothèse 2 : l'effet du C/D ratio augmente lorsque des informations haptiques sont retirées

Influence C/D ratio



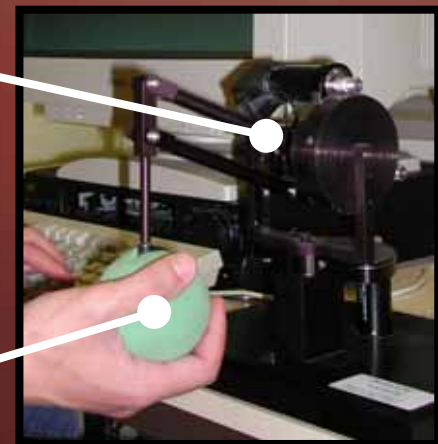
Procédure expérimentale

- **Dispositif expérimental**
 - Retour haptique:
PHANToM Premium 1.0 + balle en mousse
 - Retour visuel:
Ecran 21" en monoscopie
- **Procédure expérimentale**



PHANToM

Balle en
mousse



Influence C/D ratio



Expérience 1

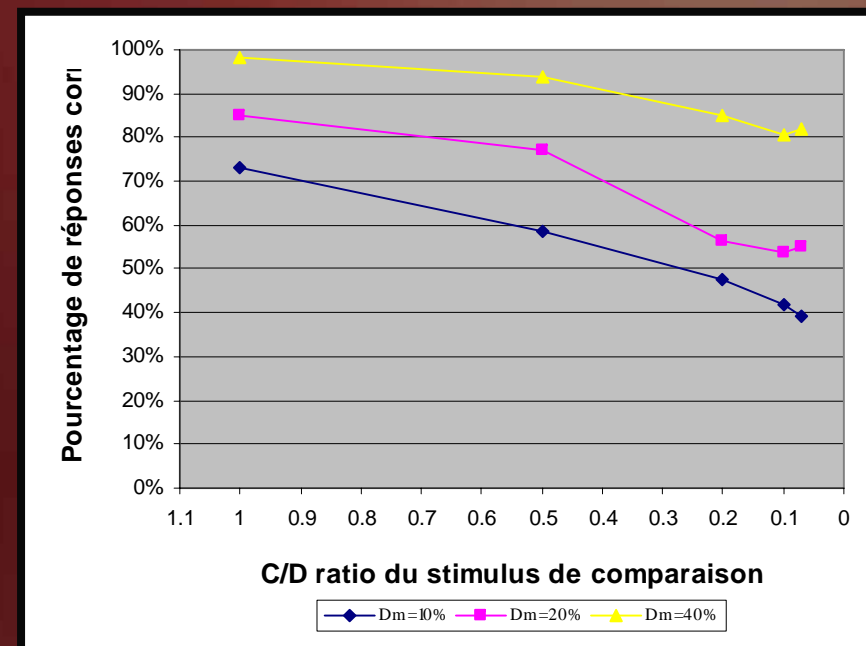
- **Simulation haptique : gravité simulée**

- **Conditions :**

- 1 balle de référence : $m_{ref}=100g$, $CDR_{ref}=1$
- 15 balles de comparaison possibles :
 - $m_{comp}=110g$ (+10%), 120g (+20%), 140g (+40%)
 - $CDR_{comp}=1$ (1/1), 0.5 (1/2), 0.2 (1/5), 0.1 (1/10), 0.0667 (1/15)
- 10 sujets, 16 séries d'essais → 240 essais

- **Résultats :**

- Influence significative du CDR sur le % de réponses correctes ($F(4,36)=14.1$, $p<0.0001$)



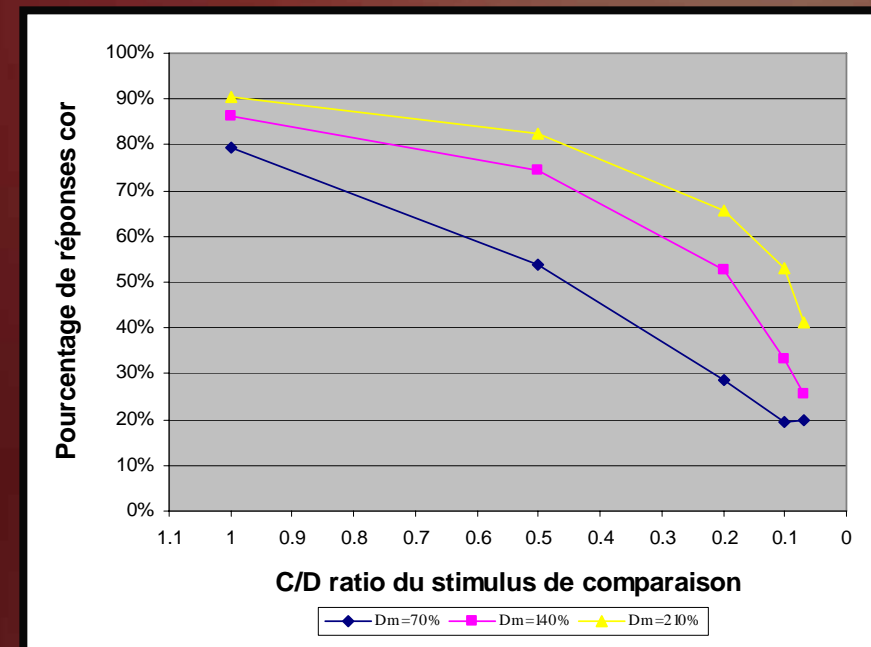
Influence C/D ratio



Expérience 2

- Simulation haptique : gravité retirée
- Conditions :
 - 1 balle de référence : $m_{ref}=100g$, $CDR_{ref}=1$
 - 15 balles de comparaison possibles :
 - $m_{comp}=170g$ (+70%), 240g (+140%), 310g (+210%)
 - $CDR_{comp}=1$ (1/1), 0.5 (1/2), 0.2 (1/5), 0.1 (1/10), 0.0667 (1/15)
 - 10 sujets, 16 séries d'essais → 240 essais

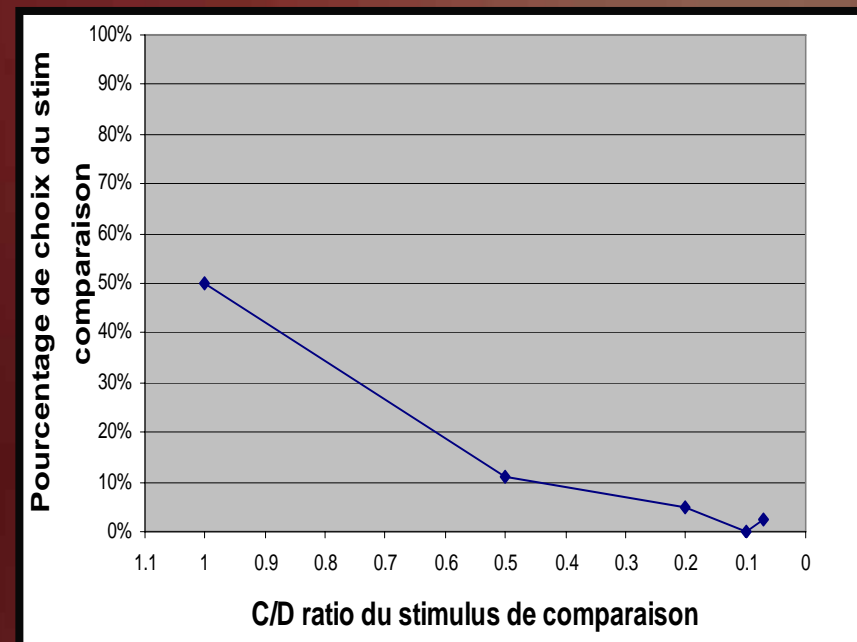
- Résultats :
 - Influence significative du CDR sur le % de réponses correctes ($F(4,36)=45.8$, $p<0.0001$)



Expérience 3

- Pas d'information haptique simulée
- Conditions :
 - 1 balle de référence : $m_{ref}=0g$, $CDR_{ref}=1$
 - 5 balles de comparaison possibles :
 - $m_{comp}=0g$
 - $CDR_{comp}=1$ (1/1), 0.5 (1/2), 0.2 (1/5), 0.1 (1/10), 0.0667 (1/15)
 - 10 sujets, 16 séries d'essais → 80 essais

- Résultats :
 - Influence significative du CDR sur le choix de la balle la plus lourde ($F(3,27)=4.23$, $p<0.0142$)



Conclusion étude préliminaire

- **Réalisations :**
 - Étude de l'influence de C/D ratio sur la perception de la masse des objets manipulés
 - Trois expériences de psychophysique
- **Observations :**
 - Utilisation d'un faible C/D ratio (amplification des mouvements) modifie la perception de la masse
 - Les objets affichés avec un faible C/D ratio paraissent plus légers (hyp. 1)
 - L'effet augmente lorsque l'on retire des informations haptiques (hyp. 2)
- **Conséquence :**
 - Risques de perturbation de la perception haptique lors de l'utilisation de techniques d'interactions en EVEH basées sur des modifications de gain de manipulation

Influence C/D ratio



Concept du Contrôle Hybride Haptique



- **Objectif :**
 - Développer un paradigme d'interaction pour la manipulation d'objets virtuels situés au-delà de l'espace de travail de l'interface haptique utilisée
- **Contraintes :**
 - Éviter un C/D ratio différent de 1
 - Pas de débrayage
- **Propriétés :**
 - Contrôle hybride position/vitesse
 - Utilisation du retour d'effort pour simuler une interface élastique



Contrôle Hybride Position/Vitesse

- **Principe [Hollis et al., 93]**
 - Zone centrale : contrôle en position
 - Zone périphérique : contrôle en vitesse
- **Exemples de contrôles hybrides**
 - Techniques d'interaction 3D : Stretch GoGo [Bowman et al., 97]
 - Applications 2D :
 - Bureautique (MS EXCEL)
 - jeux vidéo



Limite du Contrôle Hybride

- **Problème du contrôle en vitesse avec une interface isotonique [Zhai et al., 93]**
- **Modes optimisés**
 - Contrôle en position = interface isotonique
 - Contrôle en vitesse = interface isométrique ou élastique

- *interface élastique* : résistance fonction de la position de l'interface
- *interface isotonique* : résistance nulle
- *interface isométrique* : résistance infinie



Concept du Contrôle Hybride Haptique

- Simuler une interface élastique lors des phases de contrôle en vitesse :



[contrôle en vitesse]



[contrôle en position]

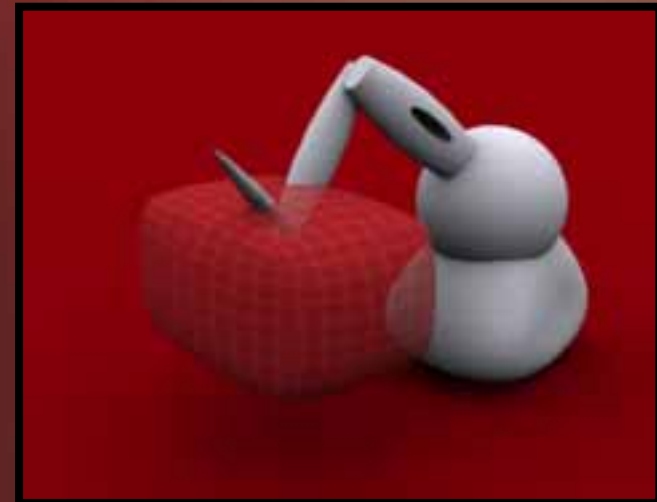


Contrôle Hybride Haptique



Mise en œuvre du CHH

- **5 points clés :**
 - Définition du volume de travail isotonique
 - Représentation visuelle de la frontière
 - Simulation du comportement d'une interface élastique
 - Fonction de transfert du contrôle en vitesse
 - Rendu des contacts en contrôle en vitesse



Conclusion Contrôle Hybride Haptique

- **Proposition d'un nouveau paradigme d'interaction permettant de manipuler des objets virtuels au-delà de l'espace de travail de l'interface haptique utilisée**
 - Basé sur un contrôle hybride position/vitesse
 - Innovation proposée : simulation d'une interface élastique
- **Nécessité de valider le concept du Contrôle Hybride Haptique**
 - application 1 : translations
 - application 2 : rotations

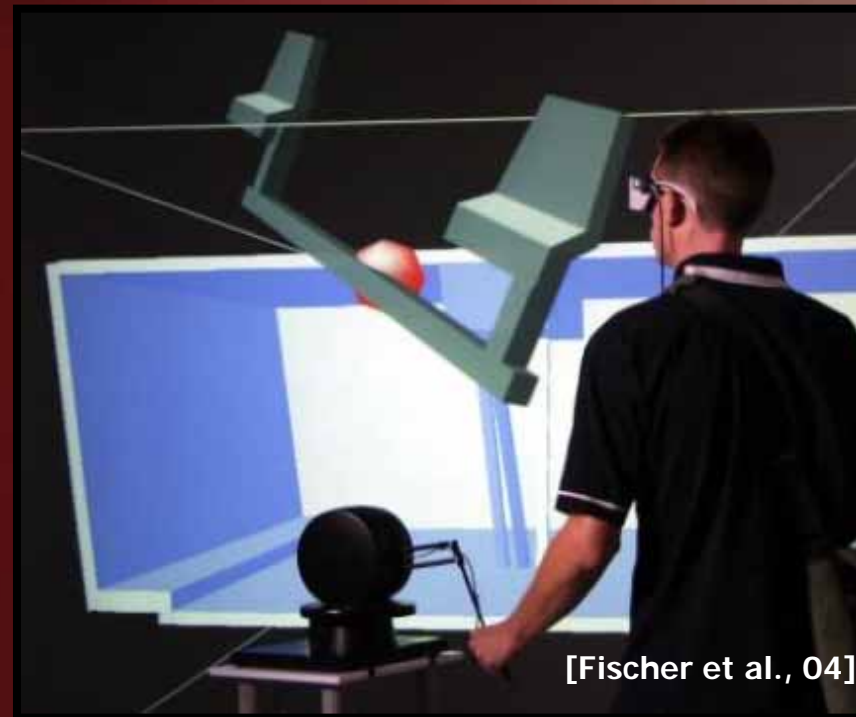


Contrôle Hybride Haptique en translation : la « Bubble » Technique



Introduction

- Application du CHH à la manipulation en translation
- Contexte : interaction haptique ponctuelle avec un EVEH
- Exemple : comment utiliser un PHANToM dans un CAVE ?



[Fischer et al., 04]

Bubble Technique

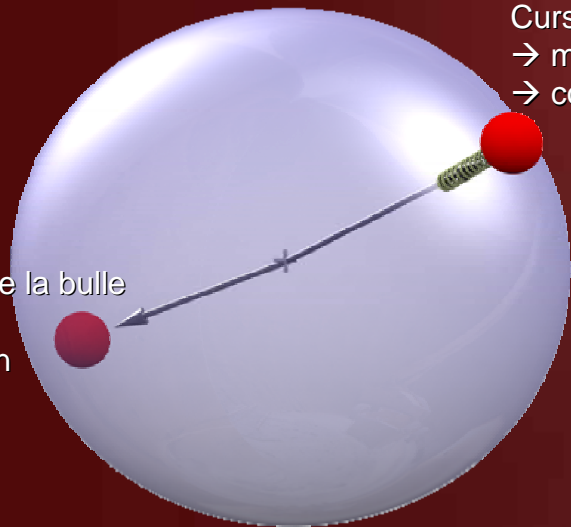


Volume de travail isotonique/élastique

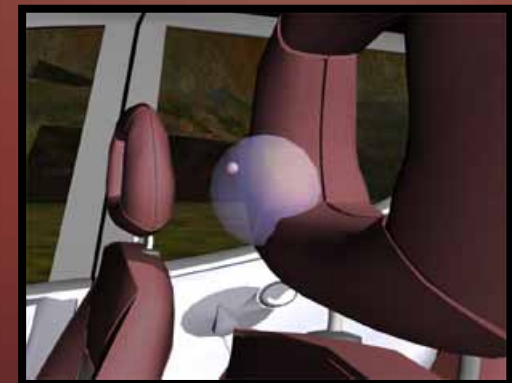
- Volume de travail isotonique : sphère
 - Intérieur : contrôle en position + isotonique
 - Extérieur : contrôle en vitesse + élastique
- Représentation visuelle : opacité variable



Curseur à l'intérieur de la bulle
→ mode isotonique
→ contrôle en position



Curseur à l'extérieur de la bulle
→ mode élastique
→ contrôle en vitesse



Bubble Technique



Lois de contrôle

- **Simulation du comportement d'une interface élastique :**

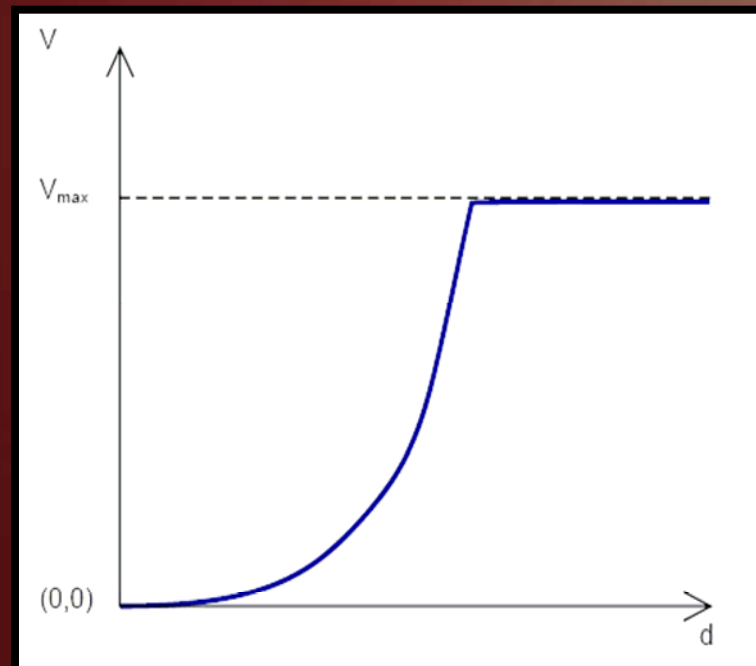
- Loi de Hooke : $k_{\text{bulle}}=200\text{N/m}$; $k_{\text{contact}}=700\text{N/m}$

$$\vec{F}_{\text{bulle}} = -k_{\text{bulle}} \cdot (D-R) \cdot \vec{r}$$

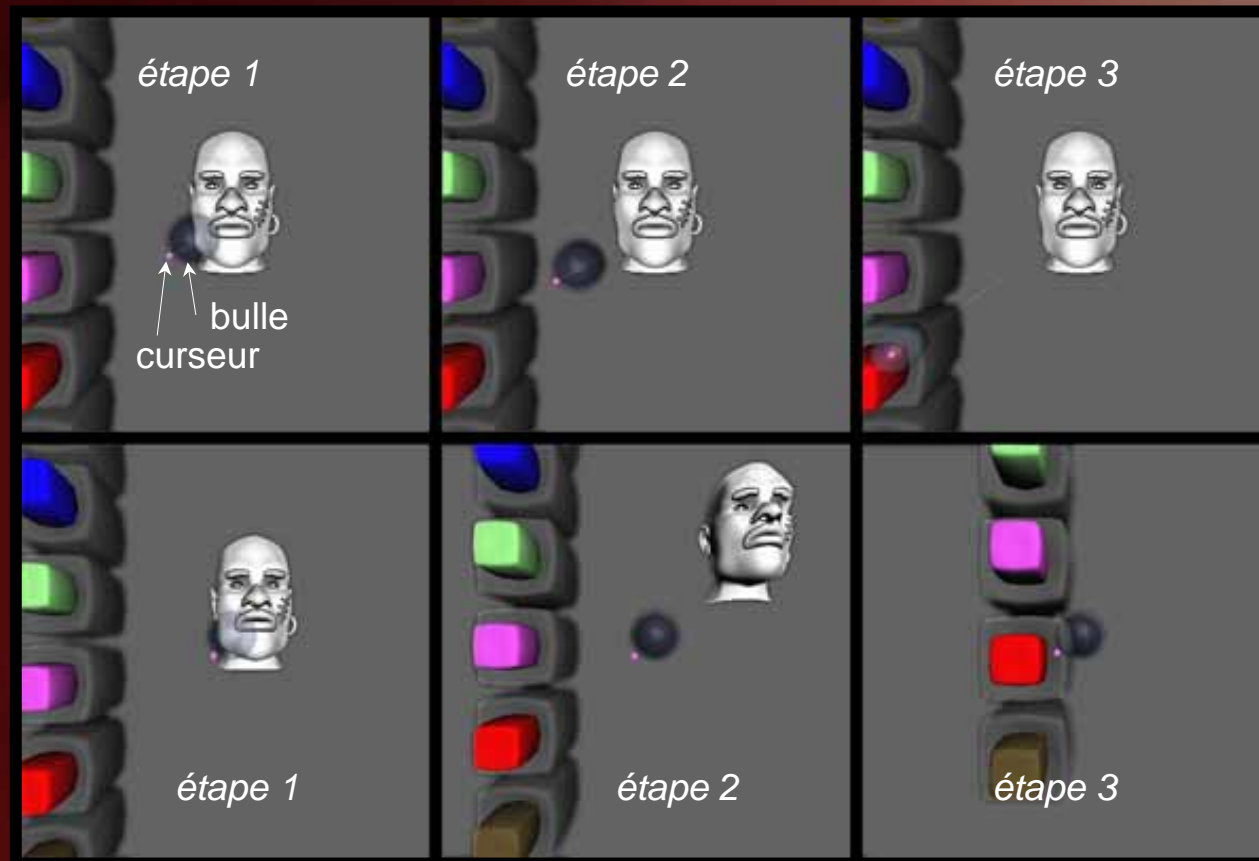
- **Loi de contrôle en vitesse :**

- Loi polynomiale degré 3
- Saturée ($V < V_{\text{max}}$)

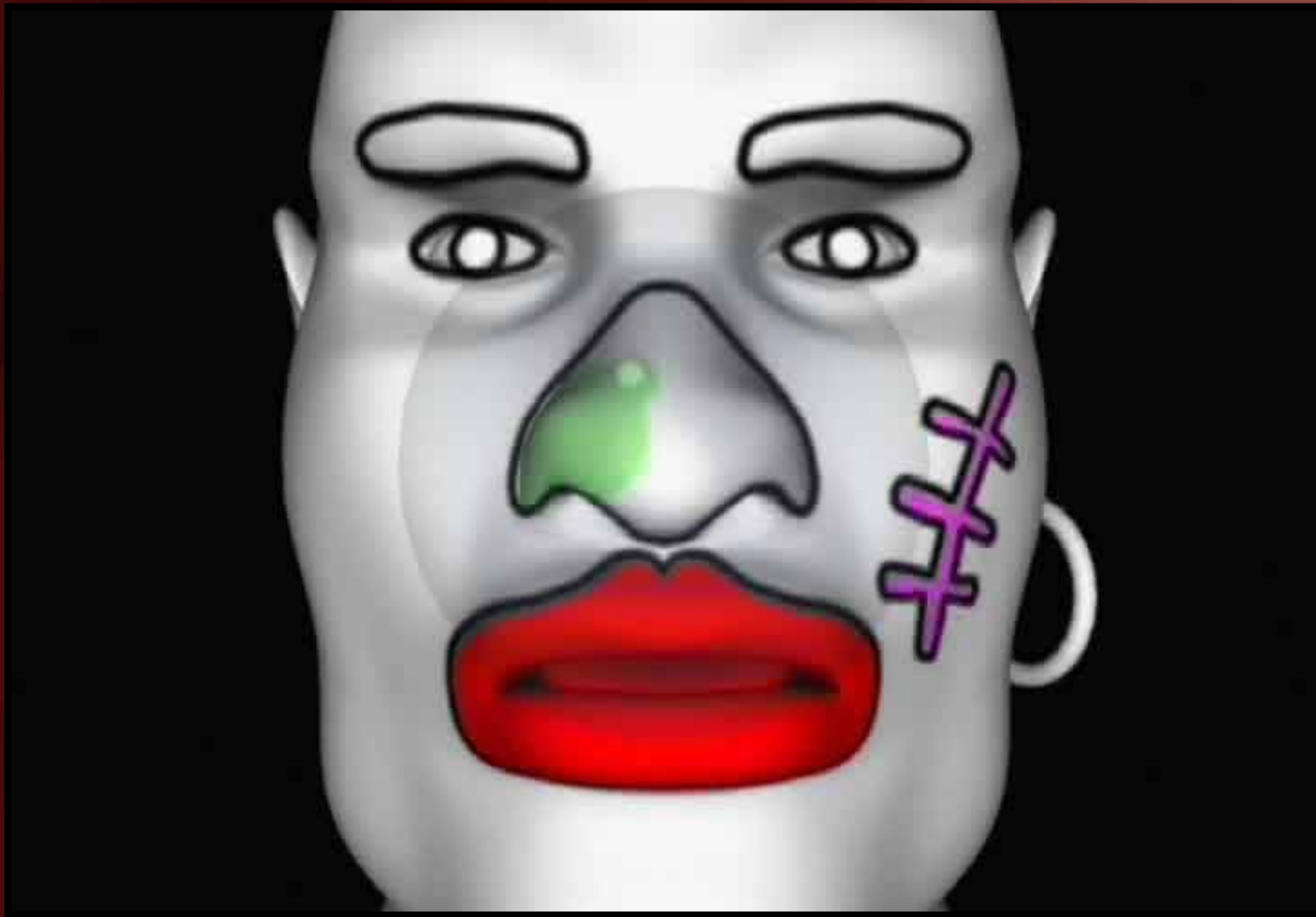
$$\vec{V} = K \cdot F^3 \cdot \vec{r} = K \cdot (D-R)^3 \cdot \vec{r}$$



- **2 implémentations :**
 - Caméra liée à l'EV → la bulle se déplace
 - Caméra liée à la bulle → l'EV se déplace



Vidéos Bubble et BubbleCam



Bubble Technique



Évaluation de la Bubble Technique

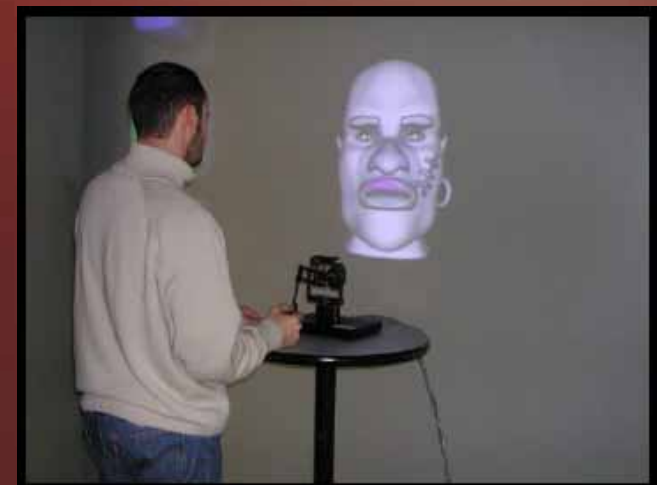
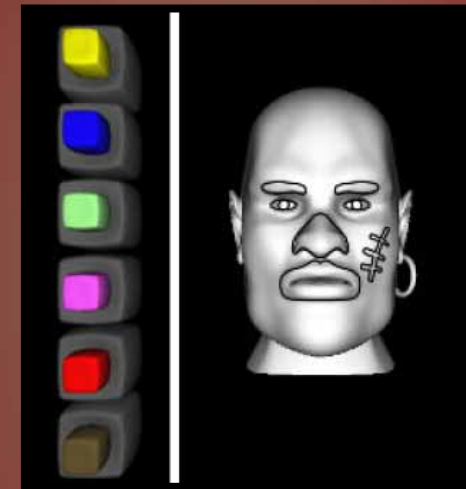
- **Objectif** : comparer la Bubble technique à 2 autres techniques classiques
 - Amplification de mouvements [Fischer et al., 03]
 - Débrayage [HAPTION, 04]



Bubble Technique



- **Tâche expérimentale : peinture 3D**
 - Peinture dans un EVEH
 - Haute précision requise
- **Dispositif expérimental :**
 - PHANToM Premium 1.0
 - Écran 3x3m



- **Conditions expérimentales**
 - 15 sujets
 - 3 groupes
 - 1 technique / groupe
- **Consignes :**
 - Précision maximale
 - Rapidité maximale
- **Données recueillies :**
 - Temps d'accomplissement :
 - temps total (s)
 - temps de peinture relatif (%)
 - Précision : dessin obtenu



Temps d'accomplissement

- Temps de réalisation de la tâche :
 - Temps totaux :

	Bubble	Débrayage	Amplification
Temps totaux (s)	810.9	1209.3	830.3

Différence significative entre
Débrayage et Bubble/Amplification
(Fischer PLSD, $p < 0.05$)

+50%

- Temps de peinture relatifs :

	Bubble	Débrayage	Amplification
Temps relatifs (%)	90.6	63	61.1

Différence significative entre
Bubble et Débrayage/Amplification
(Fischer PLSD, $p < 0.05$)

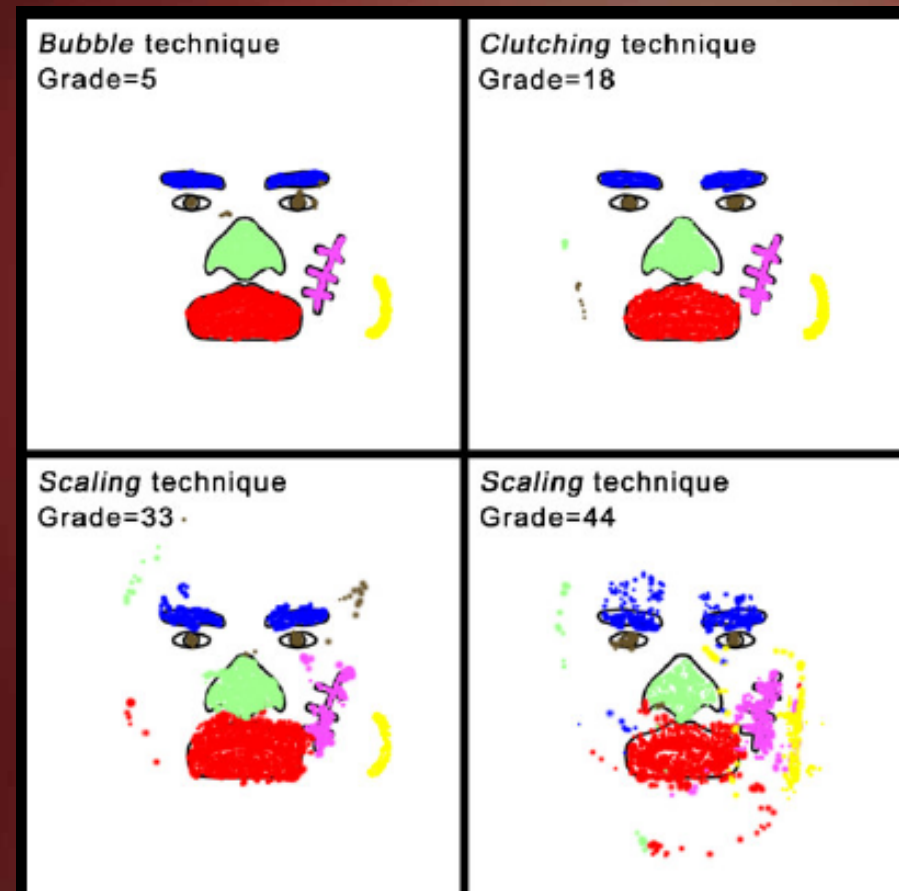
Bubble Technique



- **Précision de réalisation de la tâche :**
 - Classement des dessins
 - ➔ note par dessin
 - ➔ note par technique
 - Note basse = bon dessin
 - Note élevée = moins bon

	Bubble	Débrayage	Amplification
Note moyenne	15	18	39

Différence significative entre
Amplification et Bubble/Débrayage
(Fischer PLSD, $p < 0.002$)



Conclusion sur la Bubble technique

- **Bubble :**
 - Nouvelle technique d'interaction pour manipuler des objets au-delà de l'espace de travail de l'interface
 - Basée sur le Contrôle Hybride Haptique
- **Comparable à la technique de la sphère glissante publiée par Casiez [Casiez, 04] à la même époque**
- **Evaluation :**
 - Plus **rapide** et plus **précise** que les autres techniques comparées
 - **Appréciée** par les utilisateurs sur un ensemble des critères
- **Transfert industriel : intégrée à la VIRTUOSE API depuis la v.2.28**

Contrôle Hybride Haptique en rotation : les Rotations Hybrides Haptiques



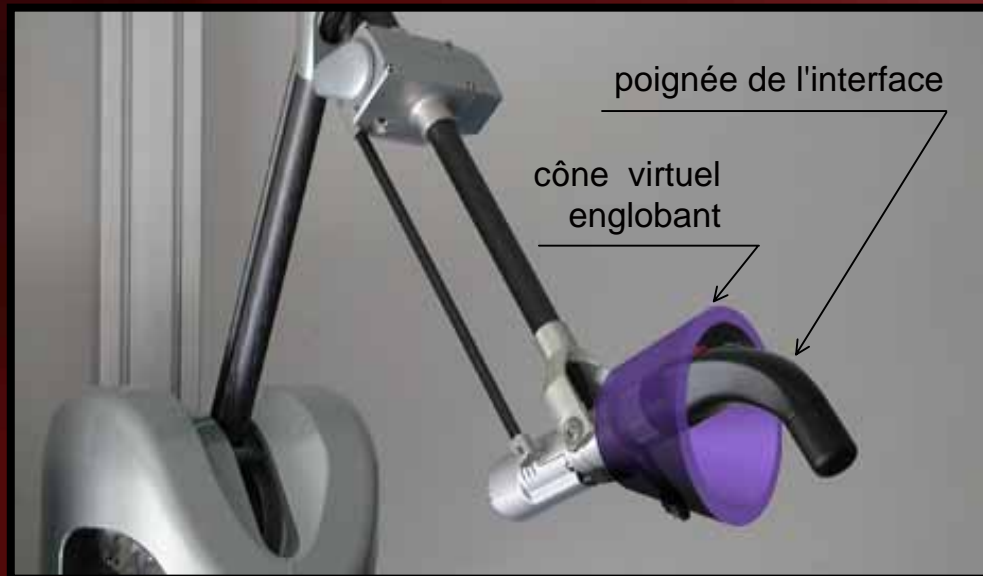
Introduction

- **Application du CHH à la manipulation en rotation**
- **Contexte : manipulation d'objets virtuels en rotation avec une interface haptique**
- **Exemple : comment orienter un objet virtuel au-delà des butées angulaires d'une interface ?**



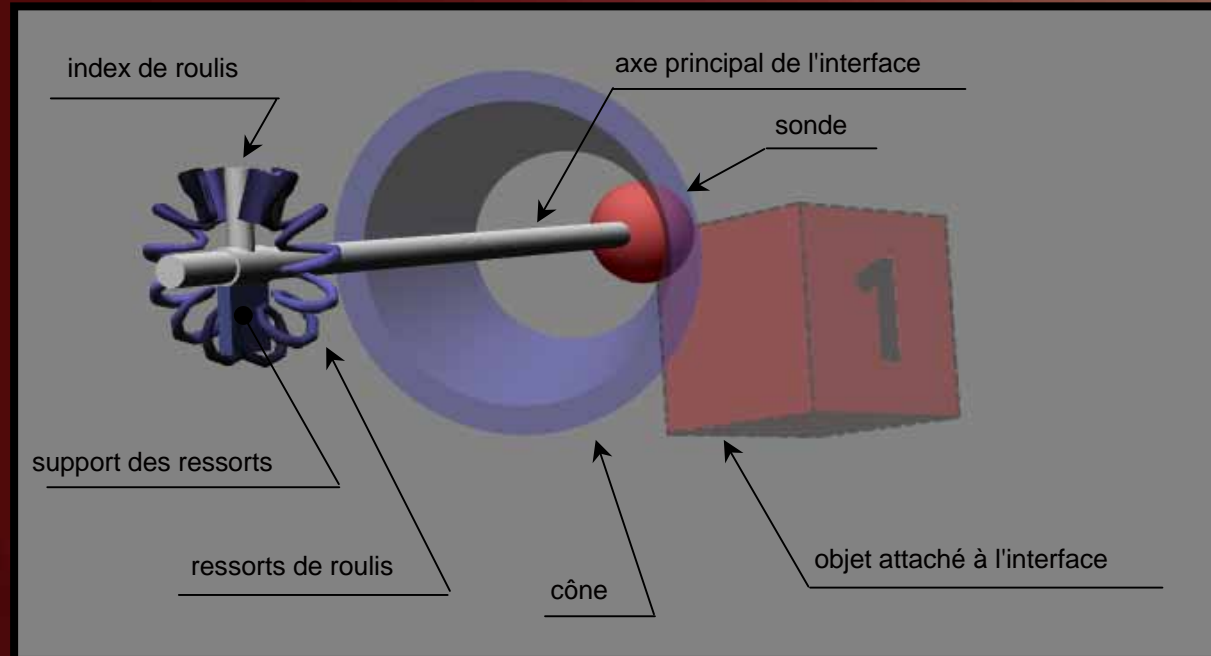
Volume de travail isotonique

- **Représentation de l'espace des rotations en 3D**
 - découplage des degrés de liberté :
 - Tangage + azimuth : cône virtuel
 - Roulis : ressorts virtuels



Représentation visuelle

- Représentation visuelle de la frontière
- Représentation visuelle de l'avatar de l'interface
 - Axe de l'interface
 - Index de roulis
 - Sonde (point de pivot)



Vidéo Rotations Hybrides Haptiques



Rotations Hybrides Haptiques



Évaluation Rotations Hybrides Haptiques

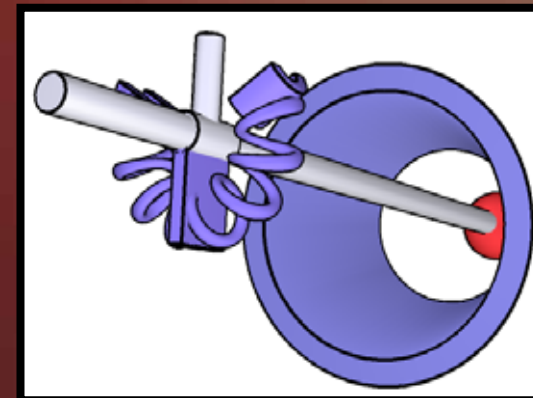
- **Objectif** : comparer les RHH à 2 autres techniques classiques
 - Amplification des rotations (rotations anisomorphes) [Poupyrev et al., 00]
 - Débrayage [HAPTION, 04]



[rotations anisomorphes]



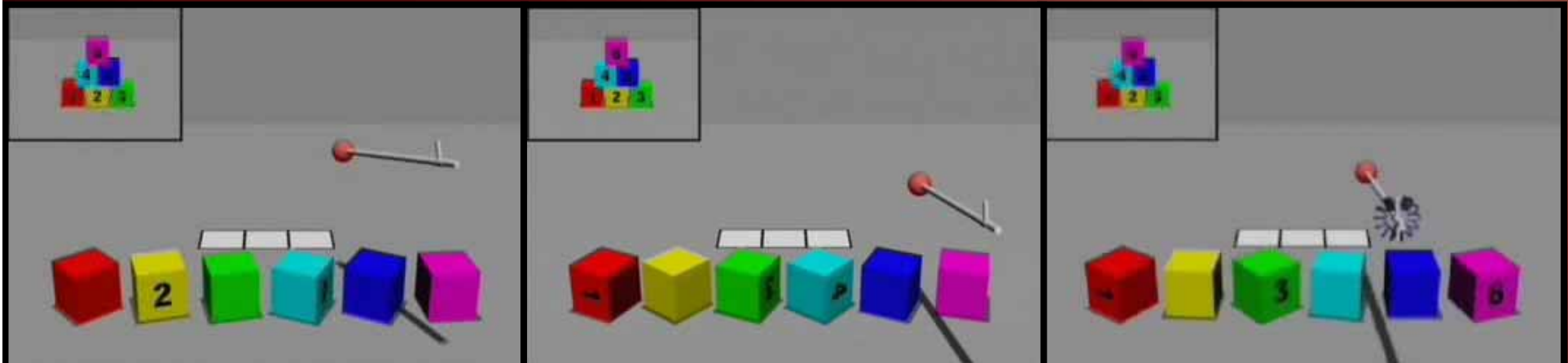
[débrayage]



[rotations hybrides haptiques]

Procédure

- **Tâche expérimentale : construction 3D**
 - Nécessite de nombreuses rotations
 - Impossible à réaliser sans TI adaptée
- **Dispositif expérimental :**
 - Virtuose 6D35-45
 - Écran 21'



Rotations Hybrides Haptiques



- **Conditions expérimentales**

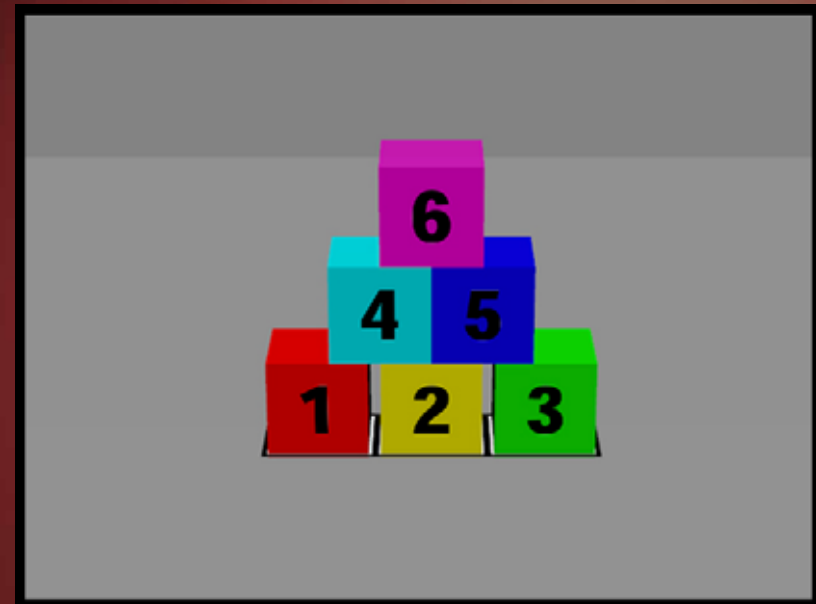
- 15 sujets
- 3 groupes
- 1 technique / groupe
- 5 essais / sujet

- **Consigne**

- Précision maximale

- **Données recueillies**

- Temps total d'accomplissement
- Précision angulaire de positionnement (somme des erreurs angulaires)



- **Temps totaux d'accomplissement :**

	RHH	Débrayage	Amplification
Temps totaux (s)	130.8	216.6	284.6



Différence significative entre les **3** techniques

(Fischer PLSD, $p < 0.02$ à $p < 0.0001$)

- **Précision d'accomplissement :**

	RHH	Débrayage	Amplification
Précision (°)	41.3	43.9	31.2

Pas de différence significative entre les 3 techniques

($F(2,72)$, $p < 0.537$, n.s.)

→ a priori cohérent avec la consigne de précision maxi

Conclusion sur les RHH

- **RHH :**
 - Nouvelle technique d'interaction pour manipuler en rotation des objets au-delà des butées angulaires de l'interface
 - Basée sur le Contrôle Hybride Haptique
- **Évaluation expérimentale :**
 - Les RHH sont plus **rapides** que les autres techniques comparées (amplification et débrayage), sans perte de **précision**
 - **Appréciée** par les utilisateurs sur un ensemble de critères proposés

Conclusion

Conclusion

- **Étude préliminaire sur l'influence du C/D ratio sur la perception de la masse des objets virtuels**
 - Le C/D ratio influence la perception
 - un faible C/D ratio (amplification de mouvement) fait paraître les objets plus légers
- **Proposition d'un nouveau paradigme d'interaction pour la manipulation d'objets virtuels au-delà de l'espace de travail de l'interface : le *Contrôle Hybride Haptique***
 - Basé sur un contrôle hybride position/vitesse
 - Innovation : simulation interface élastique
- **Développement et évaluation de 2 TI basées sur le CHH**
 - Bubble technique : translation
 - RHH : rotation
 - TI plus rapide et plus appréciées

Perspectives sur le CHH

- **Évaluations complémentaires**
 - Autres tâches (exemple : assemblage)
 - Autres populations
- Étude **systematique** des paramètres du CHH
- Analyse des effets sur le **rendu haptique**
- **Comparaison** entre Contrôle Hybride Haptique et interface haptique grand volume
- Nouveaux **concepts** d'interfaces :
 - interface isotonique/élastique

Publications

- L. Dominjon, A. Lécuyer, J.M. Burkhardt, G. Andrade-Barroso, S. Richir, "A Comparison of Three Techniques to Interact in Large Virtual Environments Using Haptic Devices with Limited Workspace", to appear in Proceedings of Computer Graphics International (CGI), Hangzhou, China, 2006, Lecture Notes in Computer Science, 2006
- L. Dominjon, A. Lécuyer, J.M. Burkhardt, S. Richir, "Haptic Hybrid Rotations: Overcoming Hardware Rotational Limitations of Force-Feedback Devices", Proceedings of IEEE International Conference on Virtual Reality (IEEE VR), Washington, US, 2006
- L. Dominjon, A. Lécuyer, J.M. Burkhardt, G. Andrade-Barroso, S. Richir, "The "Bubble" Technique: Interacting with Large Virtual Environments Using Haptic Devices with Limited Workspace", Proceedings of World Haptics Conference (joint Eurohaptics Conference and Haptics Symposium), Pisa, Italy, 2005
- L. Dominjon, A. Lécuyer, J.M. Burkhardt, P. Richard, and S. Richir, "Influence of Control/Display Ratio on the Perception of Mass of Manipulated Objects in Virtual Environments", Proceedings of IEEE International Conference on Virtual Reality (IEEE VR), Bonn, Germany, 2005

Contribution à l'étude des techniques d'interaction 3D pour la manipulation d'objets avec retour haptique en environnement virtuel à échelle humaine

