

# Partage d'interactions en environnements virtuels : de nouvelles techniques collaboratives basées sur un protocole de dialogue générique

Soutenance de thèse

**Laurent Aguerreche**

04 juin 2010

Rapporteurs : S. Coquillart et I. Mouttapa Thouvenin  
Examineurs : M. Hachet et J-L. Pazat

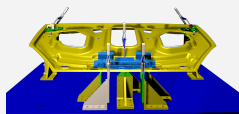
Encadrant scientifique : T. Duval  
Directeur de thèse : B. Arnaldi



UMR IRISA



- ▶ Interactions collaboratives dans des environnements virtuels
- ▶ Interactions locales ou distantes
- ▶ Objets virtuels manipulés généralement issus de la CAO
- ▶ Hétérogénéité du matériel pour l'interaction et la visualisation
  - De l'ordinateur de bureau aux systèmes immersifs



# Objectifs de la thèse

## Aide à la conception logicielle

- ▶ Proposer des implémentations génériques (*généricité*)
- ▶ Pas vers de l'interopérabilité entre plates-formes de réalité virtuelles

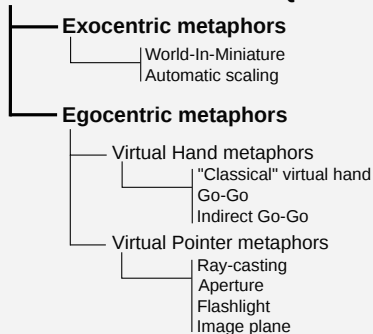
## Aide aux utilisateurs

- ▶ Améliorer l'interaction collaborative

- ① État de l'art
  - I. Techniques d'interaction mono-utilisateur
  - II. Techniques d'interaction bimanuelles
  - III. Techniques d'interaction collaboratives
  - IV. Potentiel interactif des objets
- ② Contributions
  - I. Un protocole d'interaction
  - II. Une technique de manipulation à 3 mains
  - III. Des interfaces tangibles reconfigurables

# I. Techniques mono-utilisateur

## VE MANIPULATION TECHNIQUES



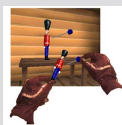
[Poupyrev *et al.*, EUROGRAPHICS'98]

## Paradigmes exocentriques

Paradigmes d'interaction qui placent l'utilisateur dans une position extérieure à l'environnement.



WIM  
[Stoakley *et al.*, CHI'95]



Voodoo Dolls  
[Pierce *et al.*, I3D'99]

## Paradigmes egocentriques

Paradigmes d'interaction qui placent l'utilisateur à l'intérieur du monde virtuel.

# I. Techniques mono-utilisateur — Main virtuelle

## Principe

Afficher une main virtuelle représentant celle de l'utilisateur.

## Motivations

- ▶ Réalisme : visuel + préhension et manipulation
- ▶ Meilleure impression d'immersion de l'utilisateur (plonger sa main dans le monde)

## Limitations

- ▶ Difficulté pour sélectionner ou manipuler des objets distants
- ▶ Une main = un objet

# I. Techniques mono-utilisateur — Main virtuelle

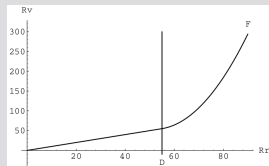
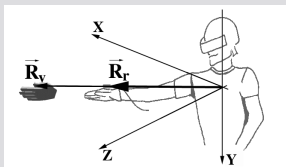
## Supprimer la limitation de la distance

- ▶ La main n'est pas attachée à un bras
- ▶ Le bras est extensible

⇒ Perte en réalisme mais gain pour manipuler des objets distants

## Exemple

- ▶ Go-Go [Poupyrev *et al.*, UIST'96]



La distance de la main virtuelle dépend de celle de la main réelle selon une fonction linéaire puis exponentielle.

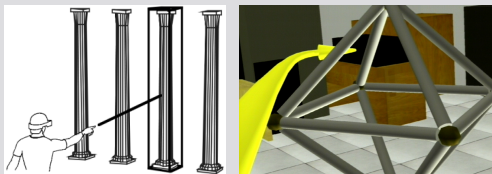
# I. Techniques mono-utilisateur — Pointeur virtuel

## Principe

Un symbole visible et manipulable par l'utilisateur lui permettant d'interagir avec l'environnement virtuel.

## Exemples

- ▶ Pointage du doigt [Mine, Tech. Report, 96]
- ▶ Rayon coudé [Owal et Feiner, UIST'03]





# I. Techniques mono-utilisateur — Pointeur virtuel

## Motivations

- ▶ Pouvoir sélectionner des objets (distants) plus facilement, plus précisément
- ▶ Prise de distance avec les contraintes du corps humain :
  - Possibilité d'allongement « à l'infini »  $\Rightarrow$  non-nécessité de naviguer pour interagir
  - Possibilité de sélectionner un grand nombre d'objets

## Limitations

- ▶ Limitation en degrés de liberté
- ▶ Difficulté pour sélectionner des objets occultés si rayon droit

# I. Techniques hybrides

Ex : HOMER (**H**and-centered **O**bject **M**anipulation **E**xtending **R**ay-casting) [Bowman et Hodges, 1997]

- ① Rayon pour sélectionner un objet
- ② Une main virtuelle va s'attacher à l'objet pour manipulation

## Motivations pour HOMER

- ▶ Rassembler les qualités de la main virtuelle et du rayon
  - Précision de sélection du rayon
  - Liberté et précision de manipulation de la main

## II. Interactions bimanuelles

### Deux types (cf. Bowman *et al.*, livre 3DUI, 2005)

#### ▶ Symétriques

- Ex : actions d'agrandissement, de rotation, etc. sur des écrans multitactiles



Perceptive Pixel

#### ▶ Asymétriques

- Ex : la main non-dominante sert de référentiel, l'autre agit « autour »



[Hinckley *et al.*, ACM ToCHI, 98]

### Intérêts

- ▶ Améliorer la dextérité de l'utilisateur
- ▶ Constituer une étape vers la collaboration

### III. Des techniques d'interaction collaboratives

#### But

- ▶ Permettre d'agir à plusieurs simultanément sur des objets partagés

#### Problèmes

- ▶ Combinaison de plusieurs actions
- ▶ Perception de ce que les autres font ou ont fait
- ▶ Hétérogénéité éventuelle des retours fournis par les périphériques

### III. Des techniques d'interaction collaboratives

Hypothèse : on considère que les objets sont composés d'attributs à modifier

- ① Techniques distribuant les fonctionnalités selon utilisateurs
- ② Techniques non-limitant les fonctionnalités selon les utilisateurs ( $\Rightarrow$  fusion des actions des utilisateurs) :
  - Autour de la main virtuelle
  - Autour du pointeur virtuel

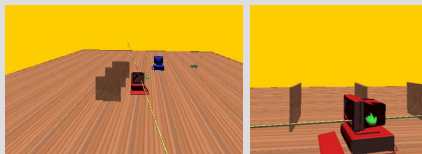
Mais, dans la littérature, un travail portant principalement sur les positions.

### III. Interactions collaboratives — Séparation des DDL

#### Simplifier la combinaison d'actions à deux niveaux

- ▶ Logiciel : disparition des problèmes de traitement d'opérations non commutatives
- ▶ Humain : moins d'interférences entre les actions de chaque utilisateur

#### [Pinho *et al.*, VRST'02] – Utilisation d'un rayon et/ou d'une main



Technique adaptée pour des manipulations difficiles/ajustements  
⇒ peut améliorer les performances

### III. Interactions collaboratives — Main virtuelle

#### Manipulation sans retour d'efforts

- ▶ Utilisation d'une seule main par utilisateur
- ▶ Limitation à deux utilisateurs



Ruddle et al., Presence, 04

### III. Interactions collaboratives — Main virtuelle

Problème : montrer les actions des autres *via* une main virtuelle

- ▶ Si retour haptique : produire un retour d'effort (et déplacer la poignée physique associée)
- ▶ Sinon : allongement du bras, déformation de la main, apparition d'élastiques, etc.



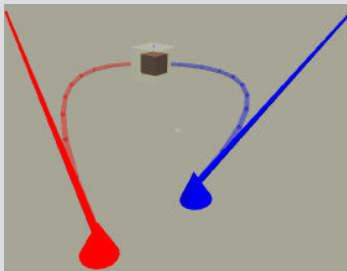
García *et al.*, VRCAI'08



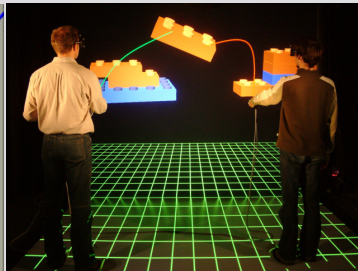
### III. Interactions collaboratives — Pointeur virtuel

#### Rayons déformables – « Métaphoriser » visuellement la collaboration

- ▶ Indiquer les actions appliquées sans requérir un système à retour d'efforts
- ▶ Montrer que le déplacement d'un objet est issu d'un compromis des actions des utilisateurs



[Duval et Fenals, Annexes IHM'02]



[Riege *et al.*, 3DUI'06]

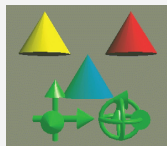
## IV. Potentiel interactif des objets

Faire comprendre les zones interactives (cf. [Gibson, 1986], [Norman, 1988]).

- ▶ Zones interactives
- ▶ Déplacements / rotations possibles



[Badawi et Donikian, CASA'04]

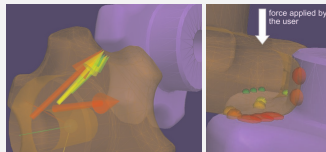


[Duval et Le Tenier, Méca' & Indus', 04]

- ▶ Contraintes



[Kitamura et Kishino, Presence, 98]



[Sreng et al., VRST'07]

## IV. Potentiel interactif des objets

### À comprendre par un utilisateur

- ▶ Les déplacements et rotations possibles, les zones interactives, les limites et les contraintes des interactions

### Moyens mis en œuvre

- ▶ *Virtualité augmentée* : ajouts d'informations dans un monde virtuel à l'image de techniques de la réalité augmentée
  - Pour une meilleure, ou plus facile, perception de l'environnement
  - Modalités diverses : visuelles, sonores, haptiques

## Techniques d'interaction

- ▶ Nombre important de techniques utilisant un ou plusieurs outils d'interaction
- ▶ Difficultés particulières outils collaboratifs
  - Combinaison de toutes les actions des utilisateurs
  - L'indication d'actions concurrentes ( $\Rightarrow$  *obtention de compromis*)
- ▶ Hétérogénéité des périphériques d'interaction

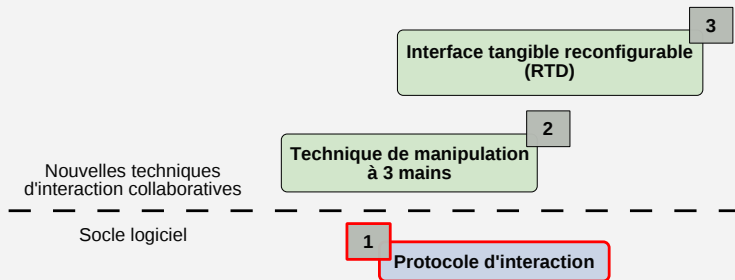
$\Rightarrow$  Besoin de guider les concepteurs pour implémenter des interactions

$\Rightarrow$  Besoin d'obtenir une généricité entre les outils et les objets

$\Rightarrow$  Besoin d'abstraction des plates-formes logicielles de réalité virtuelle et du matériel

$\Rightarrow$  Besoin d'améliorer les techniques d'interaction collaboratives

# Plan des contributions



**Un protocole d'interaction pour des interactions collaboratives locales ou distantes**

**Interaction** – Plusieurs personnes partagent un même EV :

- ▶ manipulent ensemble des objets virtuels ;
- ▶ interagissent selon des droits d'accès aux objets.

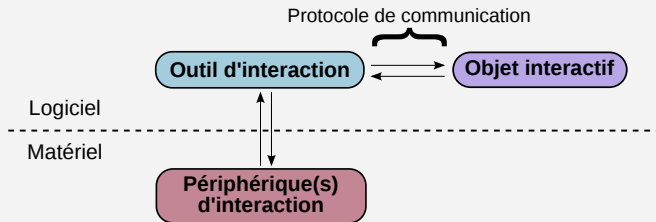
**Communication** – Interaction pouvant être répartie sur plusieurs sites (ex : une plate-forme à Rennes et une autre à Laval).

**Hétérogénéité** – Si différents sites, matériel peut-être différent :

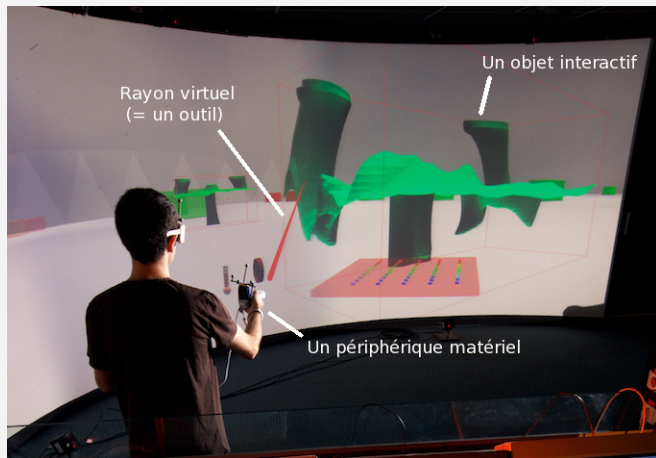


# Modèle proposé pour les interactions

- ▶ D'un côté des outils d'interaction
  - ▶ De l'autre, des objets interactifs
- ⇒ Seul un outil d'interaction peut agir sur un objet interactif
- ⇒ Besoin d'un protocole de communication



# Exemple d'interaction





# L'outil d'interaction et l'objet interactif

## Capacités d'un outil d'interaction

- ▶ Sélection
  - Désignation d'un objet (*avant une sélection, voire mélangée*)
  - Sélection d'un objet
- ▶ Manipulation
  - Modification d'attributs d'un objet (ex : position ou couleur)

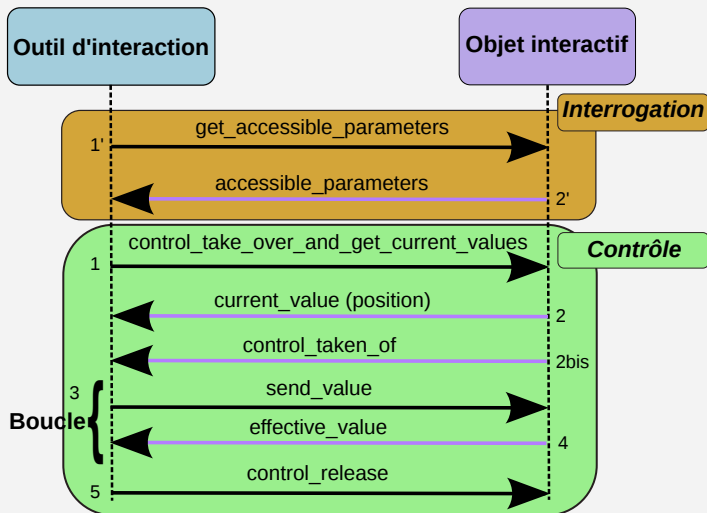
## Capacités d'un objet interactif

- ▶ Réagir à une désignation ou une sélection
- ▶ Traiter les données envoyées par un outil durant une manipulation
  - 1 Fusionner ces données
  - 2 Mettre à jour les valeurs de ses attributs

# Un protocole de communication

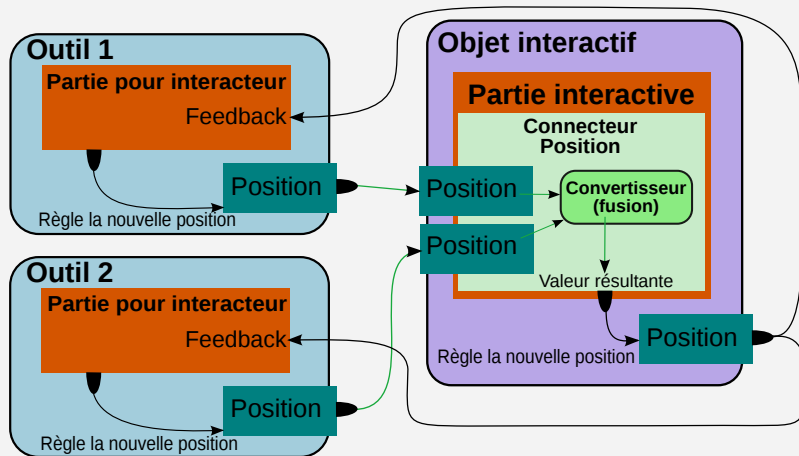
- ▶ Décrit les étapes d'un dialogue entre un outil d'interaction et un objet interactif
  - Interrogation d'un objet interactif
  - Prise de contrôle d'un objet interactif
- ▶ Asynchrone
- ▶ Basé messages
  - Commandes en ASCII + types simples de données
  - Pas de mécanismes de RPC « complexes » (ex : CORBA)
- ▶ Basé sur un protocole sûr de communication
  - actuellement, usage de MPI [basé sur TCP]

# Exemple de commandes échangées lors de la manipulation d'une position d'un objet interactif



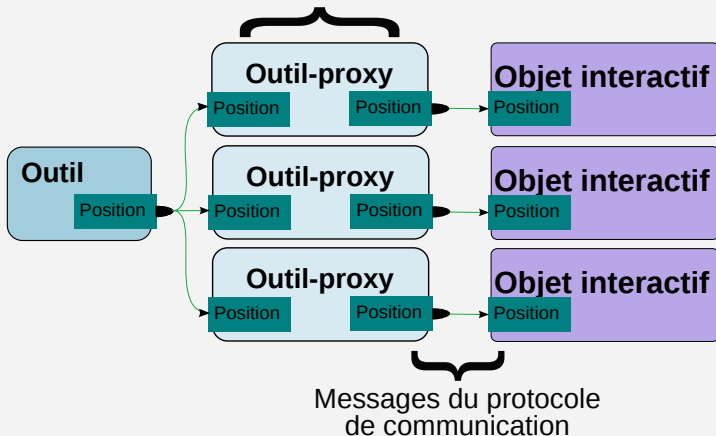
- ▶ Tout attribut (d'un outil ou d'un objet) est associé à un niveau d'accès
  - ▶ Un niveau minimal est requis pour qu'un outil accède à un attribut d'un objet
- ⇒ Un outil ne peut manipuler que certains attributs de certains objets interactifs.
- ▶ Cas d'interactions collaboratives
    - Un outil peut augmenter le niveau d'accès d'un attribut d'un objet pour en empêcher l'accès
    - Un outil peut diminuer le niveau d'accès
    - Un outil peut obtenir une manipulation exclusive d'un attribut

# N outils d'interaction proposant des positions à 1 objet interactif



# 1 outil d'interaction proposant des positions à $N$ objets interactifs

Calcule une position pour un objet interactif à partir d'une position fournie par l'outil



**Introspection** – Possibilité d'interroger un objet interactif à tout moment avec indépendance à un langage de programmation

**Gestion de permissions** – Seuls certains outils d'interaction peuvent manipuler certains attributs d'objets interactifs

**Gestion d'actions concurrentes** – Plusieurs outils d'interaction peuvent manipuler un même objet interactif

**Gestion d'actions « parallèles »** – Un outil d'interaction peut manipuler plusieurs objets interactifs simultanément

# Conclusion et travaux futurs

## État actuel

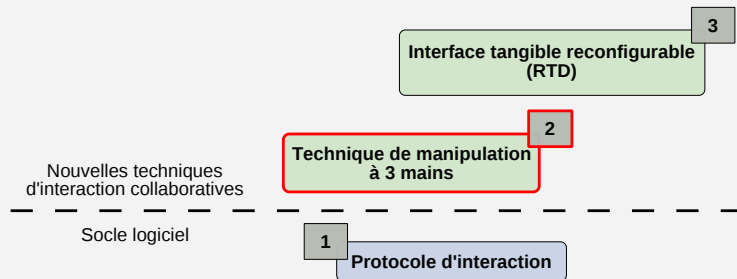
- ▶ Protocole de communication implémenté sur OpenMASK et sur 3DVIA-Virttools (par CLARTÉ)
- ▶ Plusieurs techniques d'interactions implémentées : pointeurs, rayons, *etc.*
- ▶ Premiers résultats d'interopérabilité (entre OpenMASK et 3DVIA-Virttools)

## Travaux futurs

- ▶ Appliquer le protocole à d'autres cas d'usage
- ▶ Poursuivre la quête de l'interopérabilité entre plates-formes logicielles de réalité virtuelle. . .



# Plan des contributions



## Technique d'interaction collaborative à 3 mains

## Objectif : permettre des co-manipulations réalistes d'objets virtuels

- ▶ Utilisation pour de l'apprentissage de tâches
- ▶ Utilisation pour la vérification de faisabilité de tâche
- ▶ Partage du même objet virtuel par au moins deux utilisateurs
- ▶ Déplacement de l'objet grâce aux mains des utilisateurs
- ▶ Recours non-nécessaire à des périphériques haptiques

# Des techniques de co-manipulation d'objets

## Moyenne de positions et interpolation d'orientations

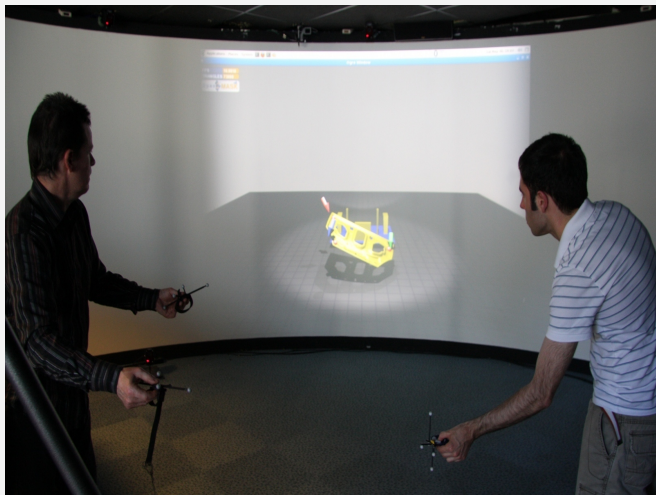
- ▶ Manipulation d'un pare-brise de voiture [Salzmann, Jacobs et Fröhlich, JVRC'09]



## Nous pensons que dans le cadre d'un apprentissage. . .

- ▶ Les utilisateurs n'ont pas l'impression de tenir l'objet qu'ils partagent, ou peu
- ▶ L'usage d'une seule main réduit la précision pour l'orientation

# La technique de manipulation à trois mains

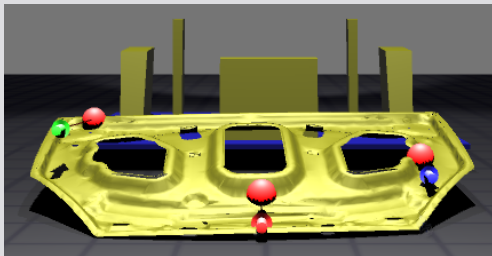


[L. Aguerreche, T. Duval et A. Lécuyer, JVRC'09]

# La technique de manipulation à trois mains

## Usage

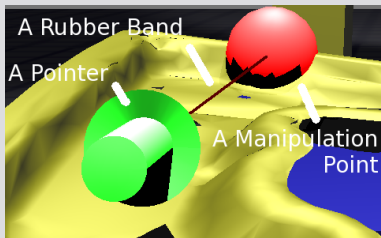
- ▶ Utilisation de 3 mains virtuelles (*les pointeurs à l'écran*)
- ▶ Seules leurs **positions** sont considérées, pas leurs orientations
  - 3 points non-alignés définissent un plan et donc une orientation
- ▶ Les mains virtuelles doivent rester proches de leurs points de manipulation



# La technique de manipulation à trois mains

Pourquoi les mains virtuelles doivent-elles rester proches de leurs points de manipulation ?

- ▶ Pour mieux imiter la réalité
  - ▶ Pour éviter des instabilités susceptibles d'apparaître sinon...
    - En pratique, la stabilité semble bonne cependant
- ⇒ Aide aux utilisateurs par des rubans colorés



# La technique de manipulation à trois mains

## Conclusion

- ▶ Réalisme du positionnement et du mouvement des mains des utilisateurs
- ▶ Fournit l'impression que l'objet est entre les utilisateurs
- ▶ Pas de retour haptique à rendre
- ▶ Requier uniquement 3 positions pour obtenir aussi une orientation

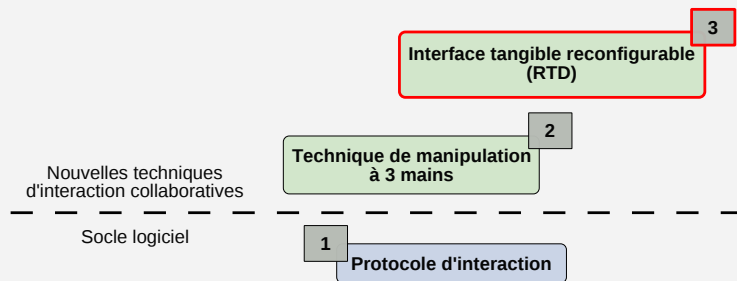
## Améliorations

Aider les utilisateurs à :

- ▶ Coordonner leurs déplacements
- ▶ Garder leurs mains proches des points de manipulation

⇒ Fournir une interface tangible pour améliorer la coordination

# Plan des contributions



## Des interfaces tangibles reconfigurables



# Des exemples d'interfaces tangibles

## « Classique »

- ▶ Visualisation pour neurochirurgie [Hinckley *et al.*, ACM ToCHI, 1998]



## Reconfigurable

- ▶ ActiveCubes [Watanabe *et al.*, Computers in Entertainment, 2004]



## Malléable

- ▶ Glume [Parkes *et al.*, CHI'06]
- ▶ Senspectra [Le Clerc *et al.*, CHI'07]



# Un nouveau type d'interface tangible reconfigurable

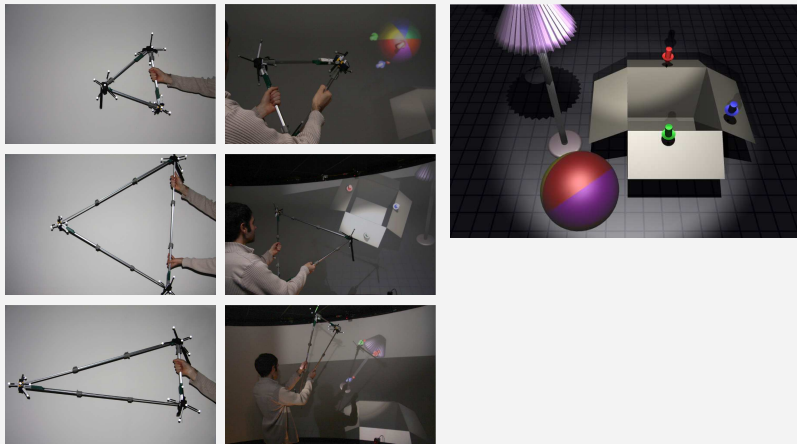
## Principes du « Reconfigurable Tangible Device » (RTD)

- ▶ Fournir un maillage rigide de points de manipulation
  - Imiter la forme de l'objet virtuel manipulé
- ▶ Pouvoir modifier la forme du maillage
  - Branches télescopiques pour changer la longueur d'un lien physique entre deux points
  - Articulations pour diversifier les formes possibles

## Actuellement, trois instances : RTD-3 et RTD-4 (plan/non-plan)



# Différentes configurations du RTD-3 selon la forme des objets virtuels manipulés



# Évaluation du RTD-3 pour des manipulations collaboratives

## Techniques comparées

- ▶ RTD-3
- ▶ Moyenne des positions et interpolation des rotations
- ▶ Séparation des degrés des liberté

---

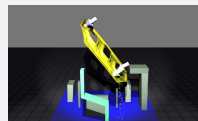
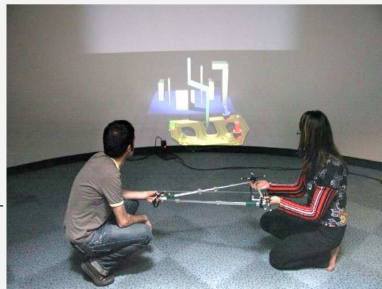
## Tâche

- ▶ Déposer un capot sur un support
- ▶ Minimiser les collisions
  - Émission d'étincelles

---

## Données relevées

- ▶ Temps d'accomplissement de la tâche
- ▶ Résultats d'un questionnaire subjectif aux utilisateurs



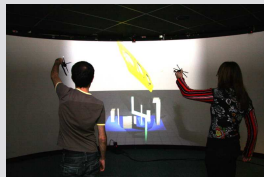
# Évaluation du RTD-3 pour des manipulations collaboratives

## Moyenne

Combiner les mouvements simultanés de deux utilisateurs

$$p_{obj} = \frac{\vec{t}_1 + \vec{t}_2}{2} + p_{obj} \quad \text{avec } \vec{t}_n = p_n - p_{n,prec} \quad (1)$$

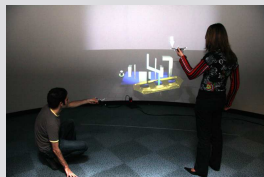
$$q_{obj} = \text{slerp}(q_1, q_2, \frac{1}{2}) \quad \text{avec } q_n = (q_n \cdot q_{n,prec}^{-1}) \cdot q_{obj} \quad (2)$$



## Séparation des degrés de liberté

Répartir les rôles :

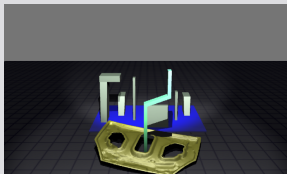
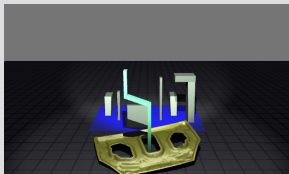
- ▶ un utilisateur translate uniquement
- ▶ un utilisateur oriente uniquement



# Évaluation du RTD-3 pour des manipulations collaboratives

## Procédure

- ▶ 12 binômes (20 hommes, 4 femmes)
- ▶ Test des 3 techniques dans un ordre prédéterminé
- ▶ 4 répétitions pour chaque technique
  - auparavant,  $\approx$  1 minute d'essais libres avec explications
- ▶ Utilisation d'une version « miroir » de la scène aléatoirement
- ▶ Durée globale de 40 minutes environ



# Évaluation du RTD-3 pour des manipulations collaboratives

- ▶ Réalisation de la « vraie » tâche immédiatement après l'évaluation d'une première technique
- ▶ Transfert de connaissances du virtuel vers le réel ?



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

# Évaluation du RTD-3 pour des manipulations collaboratives

## Notation par les utilisateurs (échelle de Likert à 7 valeurs)

	RTD-3	Moyenne	Séparation
Préparation	5,83 ( $\sigma = 1,37$ )	4,54 ( $\sigma = 1,32$ )	4,00 ( $\sigma = 1,72$ )
Réalisme	5,88 ( $\sigma = 0,99$ )	4,42 ( $\sigma = 0,88$ )	3,63 ( $\sigma = 1,54$ )
Immersion	5,71 ( $\sigma = 1,12$ )	4,88 ( $\sigma = 0,85$ )	4,54 ( $\sigma = 0,83$ )
Fatigue	4,79 ( $\sigma = 1,64$ )	4,88 ( $\sigma = 1,45$ )	5,13 ( $\sigma = 1,68$ )
Précision	4,83 ( $\sigma = 1,52$ )	4,54 ( $\sigma = 1,32$ )	4,96 ( $\sigma = 1,27$ )
Appréciation	4,96 ( $\sigma = 1,49$ )	5,04 ( $\sigma = 1,57$ )	5,08 ( $\sigma = 1,47$ )

**Préparation, Réalisme et Immersion**  $\Rightarrow$  le RTD-3 est significativement mieux noté que la Moyenne et la Séparation.

Commentaires d'utilisateurs pour le RTD-3 :

« On ressent vraiment bien l'espace pris par le capot », « La stratégie dans le vrai monde était proche de celle avec le RTD-3 », « L'avantage, c'est la similarité avec le vrai monde », ...



# Évaluation du RTD-3 pour des manipulations collaboratives

## Temps moyen d'accomplissement de la tâche (en secondes)

<b>RTD-3</b>	31,68	$\sigma = 12,52$
<b>Moyenne</b>	23,92	$\sigma = 13,58$
<b>Séparation</b>	28,17	$\sigma = 11,48$

RTD-3 significativement plus lent que la Moyenne  
( $F(1; 94) = 8,47 ; p = 0,0045$ )

## Interprétation des résultats

- ▶ Les utilisateurs préfèrent le RTD-3 en terme de préparation à une vraie tâche, de réalisme et d'immersion
- ▶ Le RTD-3 est plus lent que la Moyenne
  - la Moyenne estomperait les erreurs de manipulation
  - la gestuelle accompagnant le RTD-3 serait plus ample

[L. Aguerreche, T. Duval et A. Lécuyer, CGI'10]

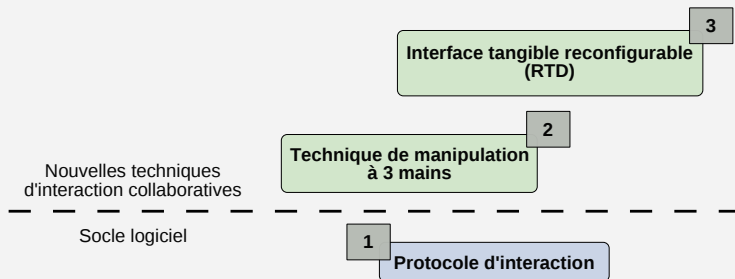
## Conclusion

- ▶ Le RTD-3 semble être une bonne technique de manipulation collaborative pour permettre des gestes réalistes

## Perspectives

- ▶ Comparaison entre RTD-3 et RTD-4 plan : temps d'accomplissement de la tâche, ressenti des utilisateurs
- ▶ Évaluation des RTD pour des tâches autres que des déplacements :
  - Redimensionnement d'objets virtuels
  - Modification de la forme d'objets virtuels

# Conclusion



- ① Protocole d'interaction
  - Exploitation de ses fonctionnalités  $\Rightarrow$  *prise de conscience*
  - Proposition de normalisation  $\Rightarrow$  *interopérabilité*
- ② Technique à 3 mains
  - Évaluation formelle
  - Usage de plus de pseudo-haptique ?
  - Ajout de systèmes de guidage  $\Rightarrow$  *contraintes cinématiques*
- ③ Interfaces tangibles reconfigurables
  - Comparaison RTD-3 / RTD-4
  - Évaluation de l'intérêt du RTD-4 pour différents types d'interactions

- ▶ L. Aguerreche, T. Duval, and A. Lécuyer.  
A Novel Concept of a Reconfigurable Tangible Device for 3D Object Manipulation in Virtual Reality.  
Rebuttal UIST'10 en cours.
- ▶ L. Aguerreche, T. Duval, and A. Lécuyer.  
Comparison of Three Interactive Techniques for Collaborative Manipulation of Objects in Virtual Reality.  
In *Proceedings of Computer Graphics International*, 2010.
- ▶ L. Aguerreche, T. Duval, and A. Lécuyer.  
3-Hand Manipulation of Virtual Objects.  
In *Proceedings of JVRC 2009 (Joint Virtual Reality Conference of EGVE - ICAT - EuroVR)*, pages 153–156, 2009.
- ▶ L. Aguerreche, T. Duval, et B. Arnaldi.  
Analyse de techniques de coopération en environnements virtuels 3D.  
*Techniques et sciences informatiques*, 28(6–7) :767–797, 2009.
- ▶ L. Aguerreche, T. Duval, and B. Arnaldi.  
A description of a dialog to enable interaction between interaction tools and 3D objects in collaborative virtual environments.  
In *Proceedings of the Virtual Reality International Conference*, pages 63–73. Simon Richir & Akihiko Shirai, avril 2009.
- ▶ L. Aguerreche et T. Duval.  
Formalisation des interactions collaboratives en environnements virtuels collaboratifs.  
Dans *Actes des journées de l'association française de réalité virtuelle*, pages 103–109. AFRV, octobre 2008.