

**Master Recherche  
Informatique de Lyon**

**MRI - RTS6**

~

**Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile**

René CHALON, Ecole Centrale de Lyon

Plan:

- 1 : Introduction
- 2 : Réalité Mixte
- 3 : Modélisation de l'interaction : IRVO
- 4 : Usages d'IRVO
- 5 : Vers une méthodologie de conception
- 6 : Projet HelpMeToDo (HMTD)

Version du 15/01/2007

1

## Introduction

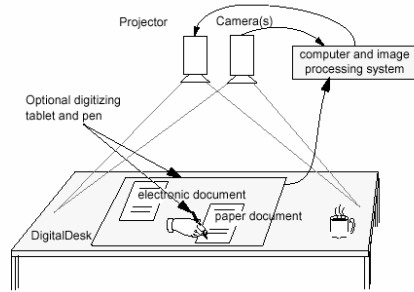
- ◆ 3 concepts:
  - ◆ Réalité Mixte



- ◆ Travail collaboratif assisté par Ordinateur
- ◆ Informatique portée (Wearable computing)
  - Ordinateur mobile + interaction



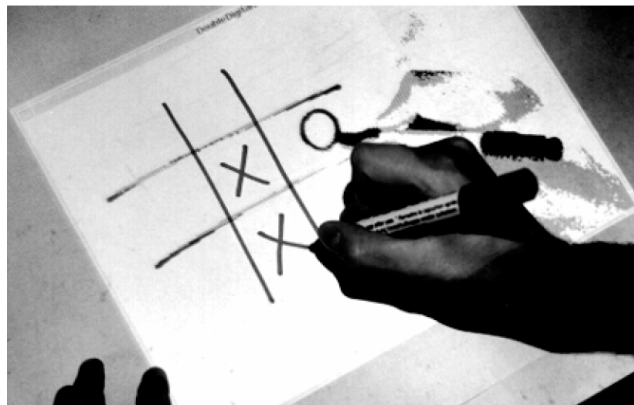
## Exemple d'applications (1/5)



- ◆ DigitalDesk (Wellner 1993)

## Exemple d'applications (2/5)

- ◆ DoubleDigitalDesk (Wellner 1993) :
  - ◆ Deux DigitalDesk couplés à distance
  - ◆ Travail collaboratif sur un document partagé



### Exemple d'applications (3/5)

- ◆ Visite de Musée :
  - ◆ Navicam (Rekimoto 1995)



René Chalon

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

7

### Exemple d'applications (4/5)

- ◆ Maintenance :
  - ◆ SEAR (Goose 2003)



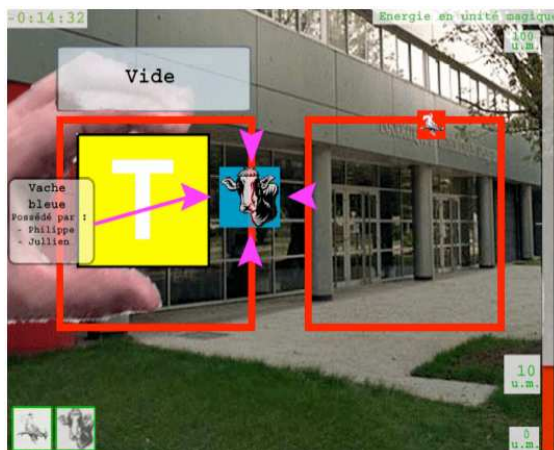
René Chalon

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

8

## Exemple d'applications (5/5)

- ◆ Jeux :
  - ◆ TROC (Renevier 2004)



René Chalon

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

9

## Problèmes

- ◆ Problèmes :
  - ◆ Comment augmenter la réalité ?
  - ◆ Dispositifs d'interaction
  - ◆ Dispositifs de localisation
  - ◆ Visualisation : aligner réel et virtuel
  - ◆ Interaction mixte : comment interagir avec des objets mixtes
  - ◆ Plateforme logicielle
  - ◆ Conception : modélisation

René Chalon



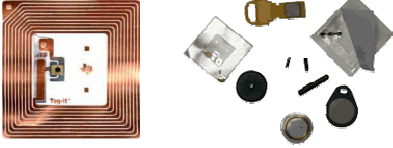

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

10

## Comment augmenter ?

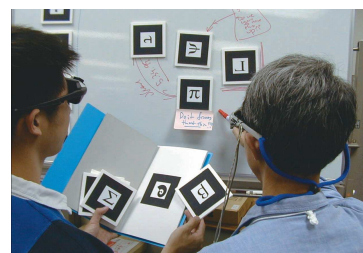
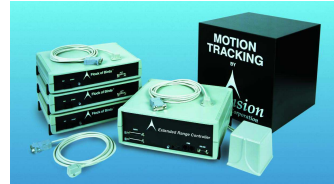
- ◆ Augmentation de l'utilisateur :
  - ◆ l'utilisateur est « augmenté » par le port d'équipements généralement sur la tête comme un casque de visualisation ou sur les mains comme des gants numériques
- ◆ Augmentation de l'objet physique :
  - ◆ l'objet réel est changé en lui ajoutant des dispositifs d'entrée, de sortie ou un processeur sur ou dans l'objet
- ◆ Augmentation de l'environnement autour de l'utilisateur et de l'objet réel :
  - ◆ ni l'utilisateur, ni l'objet ne sont affectés directement. Des périphériques indépendants fournissent et capturent de l'information de l'environnement, affichent des informations sur les objets et capturent de l'information sur l'interaction de l'utilisateur avec ces objets. Exemple : DigitalDesk

## Dispositifs

- ◆ Casque de visualisation
  - 
- ◆ Gants numériques :
  - ◆ une ou 2 mains
    - 
- ◆ Environnement augmenté :
  - ◆ Étiquettes RFID
    - 
  - ◆ Périphérique lecteur (et enregistreur)
    - 
- ◆ Dispositifs à retour d'effort

## Localisation des objets physiques

- ◆ Ascension - Flock of Bird
  - ◆ 6 d° de liberté :
    - Précision: 1,8 mm, 0,5 °
    - Résolution: 0,5 mm, 0,1 °
- ◆ GPS :
  - ◆ À l'extérieur des bâtiments !
  - ◆ Précision : env. 2-4 m
- ◆ Triangulation Wi-Fi :
  - ◆ Peu précis : 5-10 m.
- ◆ Reconnaissance d'image :
  - ◆ AR Toolkit : utilisation de marqueurs spéciaux



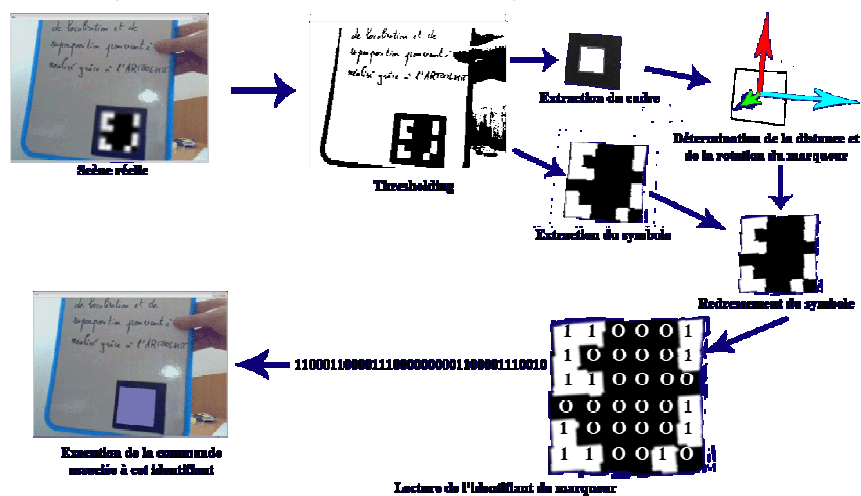
René Chalon

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

13

## ARToolkitPlus

- ◆ Principe de reconnaissance de marqueurs :



René Chalon

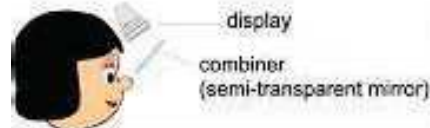
Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

14

## Casques de visualisation

### ◆ Casques semi-transparents :

#### ◆ Technologie optique



#### Technologie vidéo



René Chalon

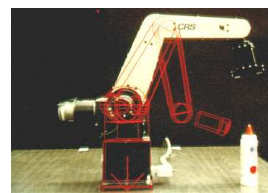
Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

15

## Problèmes de visualisation (1/2)

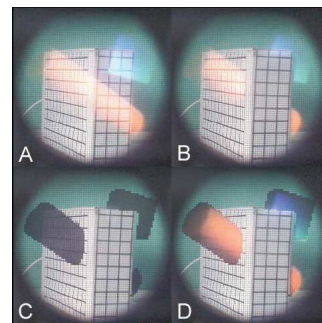
### ◆ Combiner des images réelles et virtuelles :

- ◆ Luminosité relative des objets
- ◆ Focalisation
- ◆ Ajouter mais aussi enlever des objets
- ◆ Largeur du champ de vision



### ◆ Alignement 3D des objets [registration] :

- ◆ Pb de localisation précise des objets physiques
- ◆ Alignement : les objets réels et virtuels doivent être alignés
- ◆ Alignement dynamique : garder l'alignement même avec des objets en mouvements (ou lors d'un mouvement de la tête)



### ◆ Rendu photo réaliste

René Chalon

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

16



## Problèmes de visualisation (2/2)

---

- ◆ Ergonomie :
  - ◆ Latence : les délais peuvent fortement impacter les performances de l'utilisateur.
    - Exemple: pour guider un anneau <10ms
  - ◆ Perception de la profondeur de la scène
    - Pb de convergence du regard
    - Oclusions entre objets réels et virtuels doivent être réalistes
  - ◆ Adaptation:
    - Pb avec les casques video-see-through dont l'axe de la caméra est décalé.
  - ◆ Fatigue oculaire :
    - L'usage des casques entraine une fatigue surtout les casques binoculaires

## 3

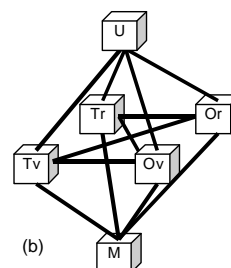
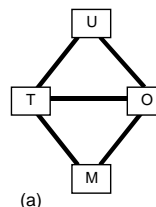
### Modélisation de l'interaction : IRVO

---

- ◆ Modèle IRVO = *Interacting with Real and Virtual Objects*
  - ◆ Modélisation de l'interaction entre le (ou les) utilisateur(s) et le système de Réalité Mixte en explicitant les objets mis en jeu et leurs relations
  - ◆ Point de vue de l'utilisateur et non du système informatique
  - ◆ Il se positionne au niveau des tâches élémentaires d'interaction
- ◆ Buts :
  - ◆ Modéliser les applications existantes :
    - analyser, comparer et classer (taxonomie)
  - ◆ Modéliser de nouvelles applications :
    - analyse prédictive, explorer des solutions alternatives
- ◆ Point de départ :
  - ◆ Limitations du modèle ASUR (Dubois 2001)
  - ◆ Interaction instrumentale (Beaudouin-Lafon 2000)

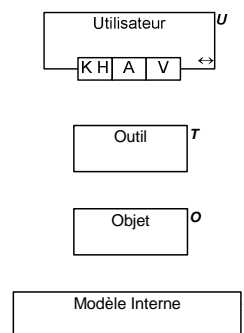
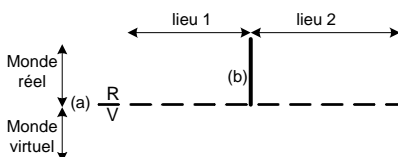
## Concepts principaux d'IRVO

- ◆ Entités
  - ◆ U = Utilisateur(s)
  - ◆ O = Objet du domaine de la tâche
    - Objet sur lequel se porte l'intérêt de l'utilisateur pour la tâche
  - ◆ T (tool) = Outil
    - permet à l'utilisateur d'agir sur d'autres objets
  - ◆ M = Modèle interne
    - application sans la couche « présentation concrète »
- ◆ Seuls les outils et objets peuvent être réels (Tr, Or), virtuels (Tv, Ov) ou mixtes
- ◆ Passage du monde réel au monde virtuel
  - ◆ Transducteurs : assure la conversion des actions et des perceptions entre les deux mondes



## Formalisme d'IRVO (1/4)

- ◆ Frontières :
  - ◆ Entre mondes réel et virtuel
  - ◆ Entre lieux du monde réel
  - ◆ Pas de frontière dans le monde virtuel (Cyberspace)
- ◆ Entités :
  - ◆ Utilisateurs (U)
    - Canal KH (kinesthésique/haptique)
    - Canal A (Audio)
    - Canal V (Visuel)
  - ◆ Outil réel (Tr) / virtuel (Tv)
  - ◆ Objet du domaine réel (Or) / virtuel (Ov)
  - ◆ Modèle interne (M)

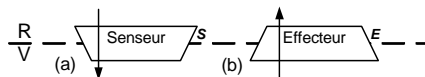


### Formalisme d'IRVO (2/4)

◆ Transducteurs

◆ Deux types

- Senseur (S) en entrée
- Effecteur (E) en sortie



◆ Représentent la fonction de conversion réel ↔ virtuel

- Sur la frontière réel/virtuel
- Les relations les traversent

◆ Dispositif d'entrée/sortie =

- ◆ Un transducteur
- ◆ Une partie réelle qui peut avoir fonction d'outil

### Formalisme d'IRVO (3/4)

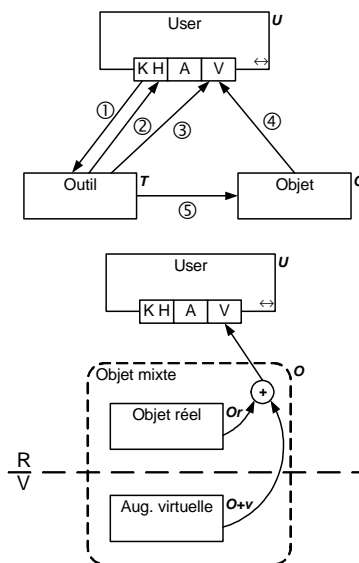
◆ Relations :

- ◆ Action de l'utilisateur ①
- ◆ Perception de l'utilisateur ②③④
- ◆ Action de l'outil (et réaction implicite) ⑤

- ◆ Relations entre objets et modèle interne
- ◆ Communication entre utilisateurs

◆ Relation d'augmentation

- Objet mixte : Abstraction de conception
- Représente le lien entre un objet réel et un objet virtuel
- Opérateur ⊕ pour fusion perceptuelle

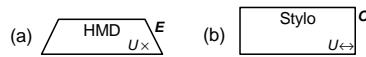


### Formalisme IRVO (4/4)

◆ Mobilité des objets :

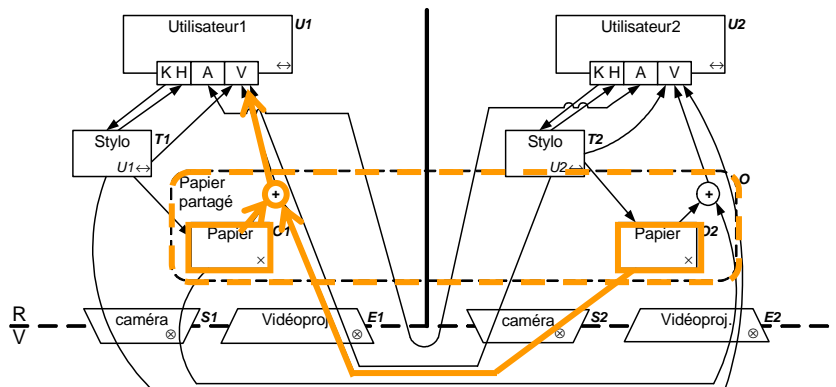
Symbole	Signification	Exemple
↔	L'entité peut bouger (ou être déplacé) pendant l'exécution de la tâche	Utilisateur U [K H A V] ↔
×	L'entité est immobile	Feuille papier O ×
⊗	Toujours (c-à-d pendant toutes les tâches de l'application)	écran E ⊗

◆ mobilité relative:



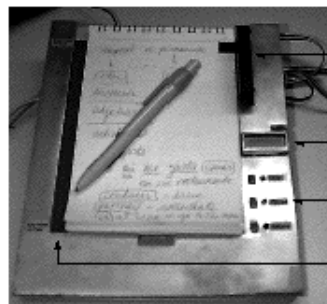
### Exemple 1

◆ DoubleDigitalDesk (Wellner 1991)

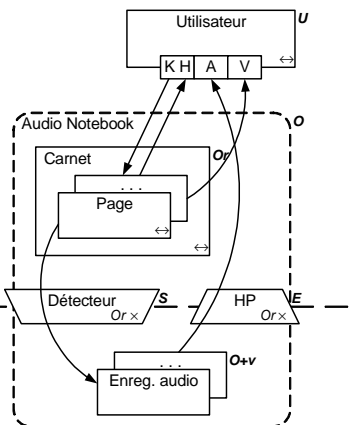


## Exemple 2

- ◆ Paper Based Audio Notebook (Stifelman 96)
  - ◆ Prise de notes durant une conférence
  - ◆ Relecture des notes synchronisée avec le son



Page Detector  
Status Display  
Record Controls  
Audio Scrollbar

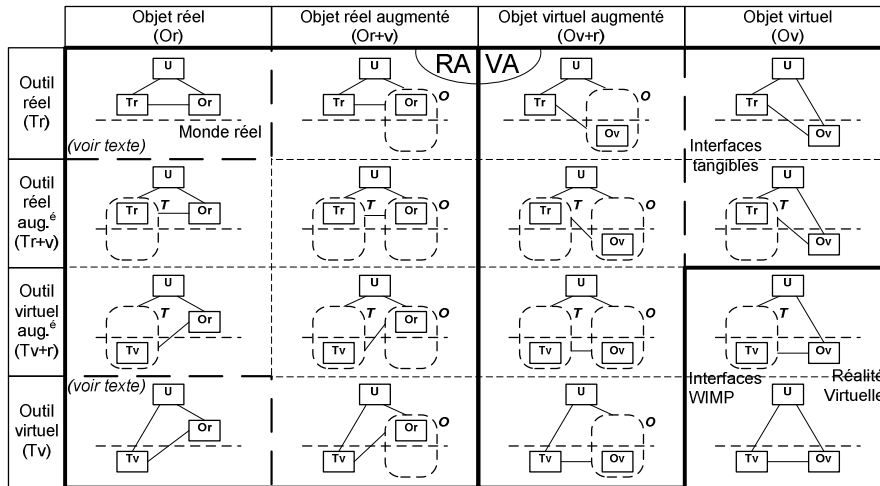


## 4

### Usages d'IRVO

- ◆ Capacités descriptives d'IRVO
  - ◆ Modéliser les applications existantes pour les analyser, les comprendre, et les comparer entre elles
  - ◆ Développement d'une taxinomie
  - ◆ Analyse de 44 applications de la littérature et classement selon cette taxinomie
- ◆ Capacités prédictives
  - ◆ Modéliser des applications nouvelles dans un but de conception
  - ◆ Tester différentes configurations pour les évaluer et retenir la meilleure

### Taxonomie (pour un utilisateur)

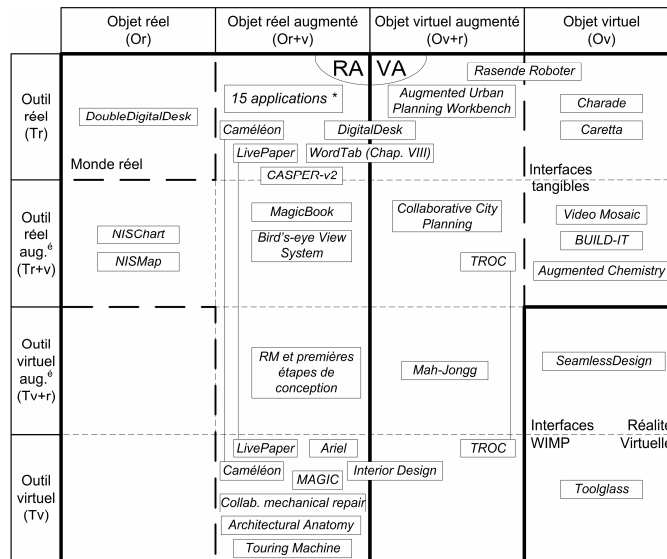


René Chalon

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

27

### Application de la taxonomie



René Chalon

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

28

## Usage d'IRVO en analyse prédictive

- ◆ Usage en conception d'applications nouvelles
- ◆ Tester plusieurs conceptions alternatives
  - ◆ Critères pour évaluer les différentes conceptions
  - ◆ Évaluations basées sur des propriétés ergonomiques
- ◆ Ensemble de règles
  - ◆ Complétude
  - ◆ Observabilité
  - ◆ Cohérence des transducteurs vis-à-vis des relations
  - ◆ Continuité perceptuelle
  - ◆ WYSIWIS (*What You See Is What I See*)
  - ◆ Etc.

## Règles (1/4)

- ◆ Complétude :
  - ◆ **Règle 1** : *Il doit exister sur le schéma une boucle action-perception partant d'un canal de l'utilisateur et arrivant à lui en passant par l'outil (les outils) et l'objet de la tâche :  $U \rightarrow T \rightarrow O \rightarrow U$ . Il ne doit donc pas y avoir d'outils ou d'objets non-reliés dans un schéma IRVO*
  - ◆ **Règle 1 bis** : *Dans les modélisations correspondantes aux tâches où il n'y a pas d'action de l'utilisateur, il n'existe pas de boucle action-perception, il n'y a pas d'outils, et seule est présente la flèche  $O \rightarrow U$*

## Règles (2/4)

- ◆ Observabilité : Les propriétés d'observabilité d'une interface homme-machine dictent que l'utilisateur doit pouvoir contrôler son action
  - ◆ **Règle 2** : *Il doit exister sur le schéma au moins une flèche  $T \rightarrow U$*
  - ◆ **Règle 3** : *La perception d'un objet du domaine mixte doit se faire en percevant chacune des composantes. Il doit donc exister :*
    - *Soit des relations :  $Or \rightarrow \oplus$ ,  $Ov \rightarrow \oplus$  et  $\oplus \rightarrow U$ ,*
    - *Soit des relations :  $Or \rightarrow U$  et  $Ov \rightarrow U$  qui arrivent sur des canaux différents de l'utilisateur*
  - ◆ **Règle 4** : *Si un outil mixte est augmenté en perception, chacune de ses composantes doit être perçues. Il doit donc exister :*
    - *Soit des relations :  $Tr \rightarrow \oplus$ ,  $Tv \rightarrow \oplus$  et  $\oplus \rightarrow U$ ,*
    - *Soit des relations :  $Tr \rightarrow U$  et  $Tv \rightarrow U$  qui arrivent sur des canaux différents de l'utilisateur*
  - ◆ **Règle 4 bis** : *Si un outil mixte est augmenté en action, Il doit exister des relations  $Tr \rightarrow Or$  et  $Tv \rightarrow Ov$*

## Règles (3/4)

- ◆ Cohérence :
  - ◆ **Règle 5** : *Un capteur n'admet que des flèches qui le traversent dans le sens monde réel – monde virtuel. L'information véhiculée (et dont la nature est donnée par le canal de l'utilisateur sur lequel aboutit la flèche) doit être d'un type compatible avec les capacités de traduction analogique/numérique du capteur*
  - ◆ **Règle 6** : *Un effecteur n'admet que des flèches qui le traversent dans le sens monde virtuel – monde réel. L'information véhiculée (et dont la nature est donnée par le canal de l'utilisateur d'où part la flèche) doit être d'un type compatible avec les capacités de traduction numérique /analogique de l'effecteur*



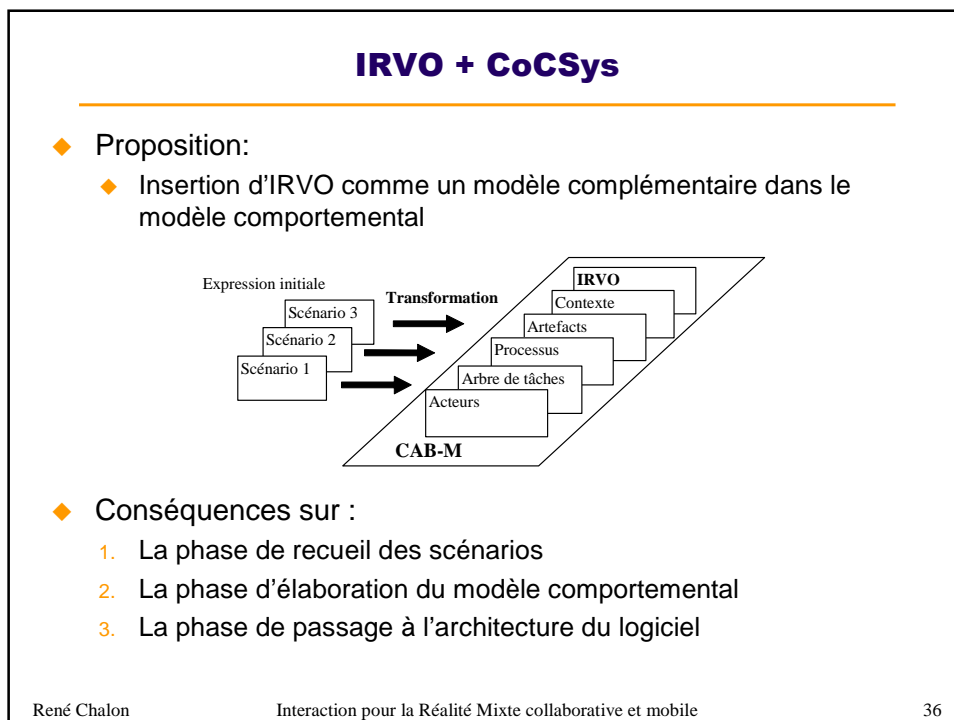
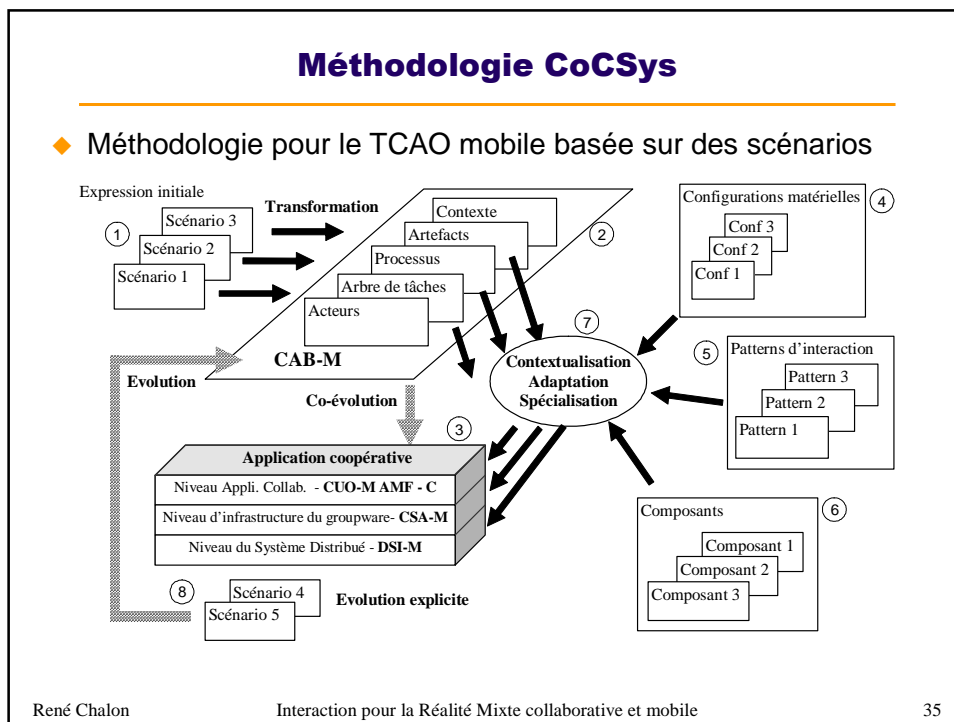
## Règles (4/4)

- ◆ Continuité :
  - ◆ La **continuité perceptuelle** traduit la possibilité pour l'utilisateur de percevoir les données relatives à un concept en prenant en compte leur dispersion géographique dans l'environnement perceptuel de l'utilisateur et les sens perceptifs mis en jeu [Dubois 2001]
  - ◆ Nous proposons de considérer deux sous cas :
    - La **continuité perceptuelle statique** lorsque ni les objets ni l'utilisateur sont en mouvements,
    - La **continuité perceptuelle dynamique** lorsque au moins une des entités est en mouvement.
- ◆ Travail collaboratif :
  - ◆ **Règle 7** : *un système collaboratif est WYSIWIS si les différents utilisateurs perçoivent le même objet de la tâche directement ou indirectement. Il existe donc des flèches  $O \rightarrow U1$ ,  $O \rightarrow U2$ , etc. où  $O$  est le même objet*

## 5

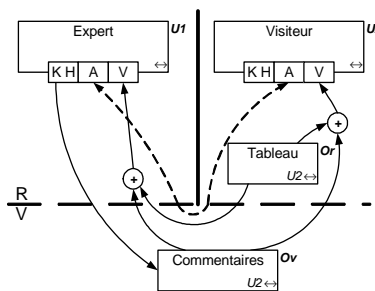
### Vers une méthodologie de conception

- ◆ Méthodologie CoCSys (*Cooperative Capillary Systems*)
  - ◆ Développée au laboratoire ICTT [Delotte 2006]
  - ◆ Adaptée au TCAO mobile = Travail coopératif capillaire
  - ◆ Approche basée sur les modèles (MBA= Model-Based Approach)
- ◆ 3 phases principales:
  - ◆ **Phase 1** : Recueil des scénarios
  - ◆ **Phase 2** : Élaboration d'un modèle comportemental suivant une approche MBA
    - 5 modèles : acteurs, arbre de tâches, processus, artefacts, contexte
  - ◆ **Phase 3** : Passage du modèle comportemental à l'architecture du logiciel de manière la plus automatique possible.
    - ◆ Modèle d'architecture construit autour de AMF-C



## Phase 1 : recueil des scénarios

- ◆ Scénarios
  - ◆ Scénarios textuels (Caroll 1997) : petites histoires
  - ◆ Recueil par observateurs ou utilisateurs (conception participative)
  - ◆ Autres formes : cas d'utilisation UML, etc.
- ◆ Apport d'IRVO : utilisation pour décrire des scénarios
  - ◆ Exemple : système Navicam +



René Chalon

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

37

## Phase 2 : élaboration du modèle comportemental

- ◆ Pour chaque tâche utilisant la Réalité Mixte, une modélisation IRVO est établie qui est reliée à 4 autres modèles :
  - ◆ À l'arbre de tâches
  - ◆ Au modèle des acteurs
  - ◆ Au modèle des artefacts
    - par les objets du domaines
  - ◆ Au modèle du contexte
    - en particulier par les dispositifs d'entrée/sortie utilisés
- ◆ Appui sur un catalogue de *patterns*
  - ◆ A partir des modèles des applications de la littérature
- ◆ Analyse prédictive
  - ◆ comparaison des solutions envisagées
  - ◆ Retour aux scénarios pour corriger, préciser, compléter

René Chalon

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

38

### IRVO et l'arbre de tâches

---

◆ Fusion des schémas en remontant à la racine → permet de mettre en évidence d'éventuels problèmes de conception

René Chalon                      Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile                      39

### Phase 3 : passage à l'architecture du logiciel

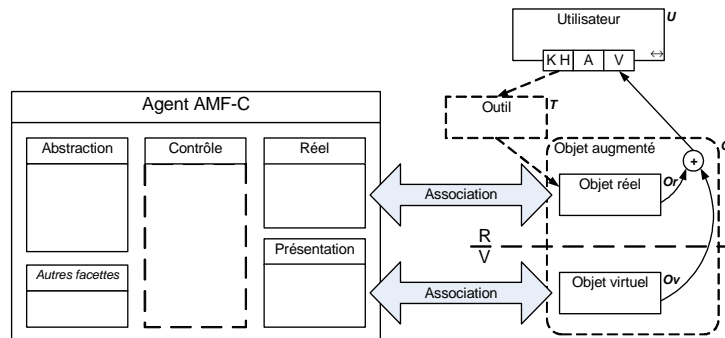
---

◆ Liens conceptuels entre IRVO et AMF-C

René Chalon                      Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile                      40

## Correspondance agents AMF-C – objets IRVO

- ◆ Ajout d'une nouvelle facette « Réel » aux agents AMF-C



- ◆ Modélisation des outils sous forme d'agents AMF-C ?

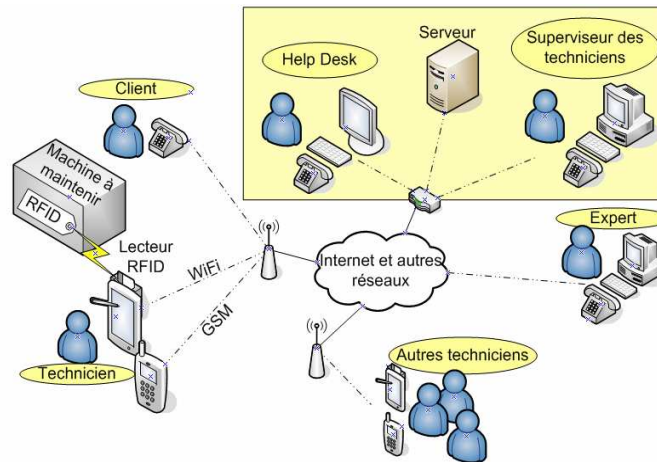
## 6

### Le projet HelpMeToDo (HMTD)

- ◆ Exploiter des nouveaux moyens de communications et interactions mobiles pour le grand public et les professionnels dans toutes les activités nécessitant de l'aide :
  - ◆ Information et formation (M-Learning)
  - ◆ Aide à la maintenance et au dépannage
- ◆ HelpMeToDo met aussi en avant :
  - ◆ Prise en compte du contexte et stockage in-situ
  - ◆ Traçabilité des opérations effectuées
  - ◆ Le dépannage sous contrôle
  - ◆ La preuve informatique de la réalisation correcte de la tâche de maintenance

## Plateforme IMERA

- ◆ Expérimentation et évaluation de dispositifs mobiles et de leurs usages
- ◆ Déclinaison « maintenance industrielle » :



René Chalon

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

43

## Application en maintenance industrielle

- ◆ Un technicien procède à la maintenance d'une machine. Pour cela, il est assisté et guidé par un processus de type workflow.
- ◆ Lors de chaque étape, les outils à utiliser sont indiqués ainsi que les plans précis des sous-ensembles et pièces à démonter-remonter.
- ◆ Outils et pièces doivent être identifiés par l'intervenant et validés par le processus dans l'ordre de la procédure. Cette action conditionne le passage à l'étape suivante.

René Chalon

Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile

44

## Caractéristiques

---

- ◆ **MO**bilité :
  - ◆ L'utilisateur doit se trouver proche de l'équipement
  - ◆ Deux mains prises et consultation simultanée d'informations multimédia (texte, vidéo, son)
  
- ◆ **CO**opération :
  - ◆ Collaboration à distance avec un ou des expert(s)
  - ◆ Guidage de l'intervenant à distance
  
- ◆ **CO**ntextualisation :
  - ◆ Identification de la machine, des outils et des pièces
  - ◆ Consultation de documentation liées à la machine et de l'historique des interventions
  - ◆ Traçabilité des actions

## Démarche de choix de dispositifs

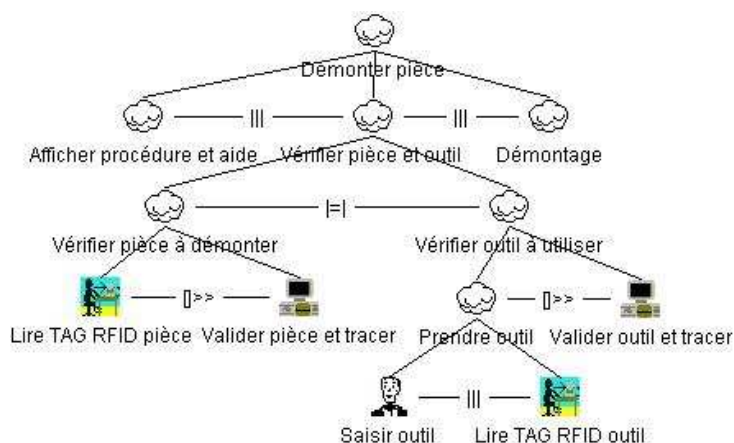
---

1. Collecter/bâtir des scénarios d'usage de la future application
2. Élaborer un arbre de tâches détaillés permettant de dégager les tâches d'interactions élémentaires
3. Utiliser un référentiel de dispositifs pour bâtir des configurations adaptées aux tâches
4. Comparer et choisir les plus appropriés :
  - ◆ En utilisant des matrices d'évaluation
  - ◆ En faisant un modèle IRVO pour chaque tâche et chaque configuration retenue :
    - ➔ Analyser et comparer les interactions de l'utilisateur avec les outils et les objets réels et virtuels dans chaque configuration
5. Bâtir la configuration finale en éliminant les dispositifs marginaux
6. Réitérer la démarche si nécessaire

## Scénario (extrait)

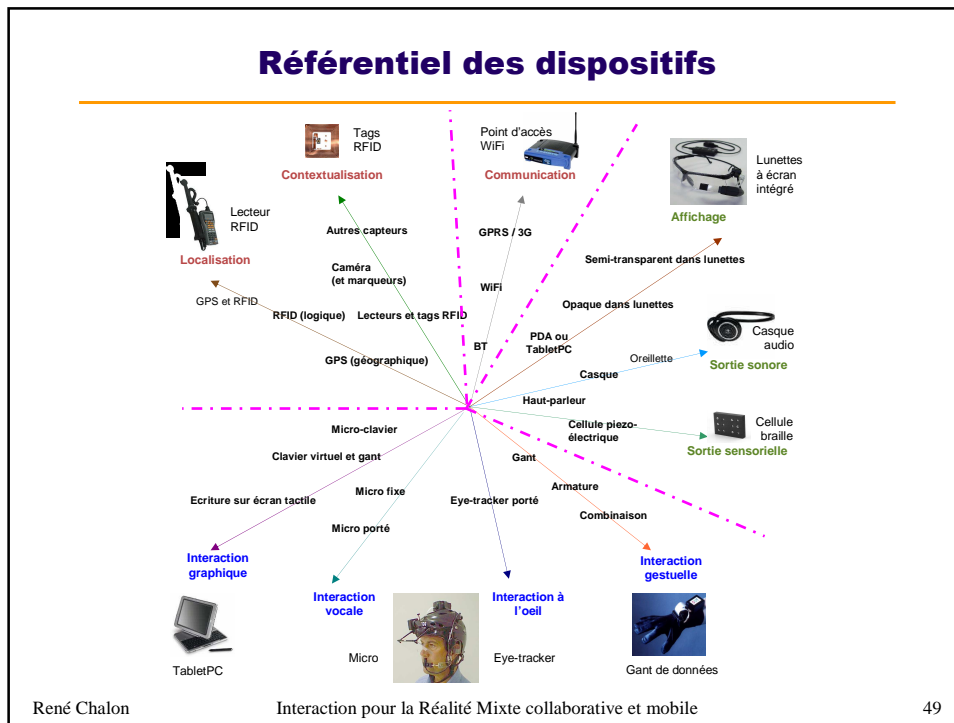
- ◆ ...
- ◆ 4. Le technicien procède ensuite au démontage, étape suivante du workflow, et utilise ses deux mains, tout en consultant la documentation adaptée, utilisant le média approprié (texte, image, vidéo, son).
  - ◆ Nota : Lors de chaque étape, le workflow affiche les outils à utiliser, les plans précis des sous-ensembles et pièces à démonter-remonter, et enregistre les actions de l'intervenant. Outils et pièces sont équipés de tags RFID que le technicien doit « taguer » dans l'ordre de la procédure. Cette action conditionne le passage à l'étape suivante.
- ◆ 5. En cas de rupture de compétence, le technicien collabore à distance avec un expert. Ce dernier accède au contexte, à l'historique de l'intervention et guide l'intervenant via des indications graphiques, orales, textuelles.
- ◆ ...

## Arbre de tâche de l'étape 4



Modélisation avec CTT (Mori, 2002)





### Matrice d'analyse des dispositifs

◆ Exemple de la matrice pour les dispositifs d'affichage

Dispositifs	Mobilité	Efficience	Satisfaction	SCORE
Écran opaque dans lunettes	3	4	3	10
Lunettes à écran semi-transparent	4	2	2	8
<b>MOYENNE</b>	3,5	3	2,5	9

◆ Résultat :

1. Ecran opaque dans lunettes
2. Lunettes à écran semi-transparent

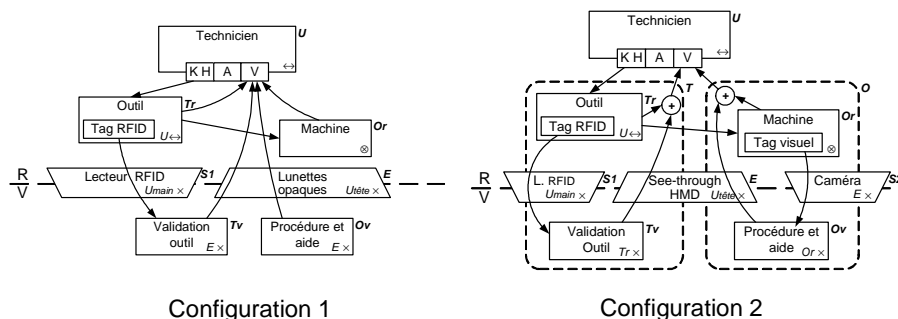
René Chalon Interaction pour la Réalité Mixte collaborative et mobile 50

## Résultat de l'analyse : 2 configurations

- ◆ Configuration 1 :
  - ◆ le lecteur RFID dans le creux de la main
  - ◆ le gant numérique
  - ◆ le casque avec micro et écouteur intégrés pour la collaboration et la consultation d'informations sonores
  - ◆ les lunettes transparentes à écran opaque intégré
- ◆ Configuration 2 :
  - ◆ le lecteur RFID
  - ◆ le gant numérique
  - ◆ le casque avec micro et écouteur intégré
  - ◆ les lunettes « see-through » avec une caméra pour partager le contexte visuel de l'intervenant avec l'expert distant et pour repérer les tags se trouvant sur la machine

## Modélisation IRVO des 2 configurations

- ◆ Analyser les interactions de l'utilisateur avec les outils et les objets réels et virtuels
- ◆ Établir une évaluation ergonomique
- ◆ Modèles pour l'étape 4 :



## **Au global**

---

- ◆ Validation de la cohérence et de la compatibilité inter-dispositifs
  - ◆ Écarter des dispositifs trop spécifiques ou les justifier
  - ◆ Assurer la continuité d'interaction dans et entre les tâches
  
- ◆ Configuration retenue :
  - ◆ La deuxième configuration apparaît plus ergonomique réduisant la charge cognitive du technicien
  
- ◆ Rétérer la démarche si nécessaire

**The End**