

# SYSTÈMES INTERACTIFS « MIXTES »

## UNE INTRODUCTION

<http://www.irit.fr/~Philippe.Truillet>

v.1.2 – novembre 2020



# PRÉREQUIS IHM

- Besoin de modéliser « l'humain »
  - Modèle du processeur humaine (Card, Moran, Newell, 1983)
    - l'humain est considéré comme un système de traitement de l'information composé de systèmes sensoriel, moteur et cognitif
  - Théorie de l'action (Norman, 1986)
    - modélise les processus psychologiques lors de la résolution de problèmes

# VERS LES SYSTÈMES MIXTES ...

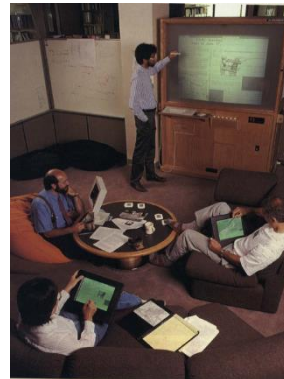
- Quoi de plus naturel
  - qu'un doigt pour toucher ou pointer ?
  - qu'un stylo pour écrire ?
  - qu'un pied pour jouer au football ...
- Et pourtant ... on utilise encore la souris pour pointer, un clavier pour écrire et une manette pour jouer au foot sur nos machines 😊



Le monde physique est fait d'objets que tout individu a l'habitude de manipuler et qu'il associe très clairement aux actions qu'il souhaite réaliser !

# VERS LES SYSTÈMES MIXTES ...

- **Objectif** : réconcilier deux mondes ...
  - le monde réel, l'environnement physique de l'utilisateur,
  - et le monde virtuel qui regroupe les moyens de traitement, de stockage et de communication proposés par l'informatique.
  
- Plusieurs tendances dont :
  - la Réalité Augmentée (**Augmented Reality**) « initiée » par le DigitalDesk de Wellner (1993)
  - L'informatique ubiquitaire (**Ubiquitous Computing**) initiée par Weiser (1991).



→ même philosophie basée sur la primauté du monde réel sur le monde virtuel, mais qui diffèrent par les technologies mises en œuvre

# VERS LES SYSTÈMES MIXTES ...

- W. Robinett (1992) donne une première définition :

*“ We have certain built-in senses such as vision, hearing, and smell, but there are many phenomena which are completely imperceptible to us ... but using electronic sensors and computer displays we can make these imperceptible phenomena visible or audible or touchable”*

→ Sorte de symbiose entre l'homme et la machine ...

# VERS LES SYSTÈMES MIXTES ...

- W. Mackay (1996) définit 3 type d'augmentation :
  - **Augmentation de l'utilisateur** : l'utilisateur porte un dispositif pour obtenir des informations sur les objets physiques,
  - **Augmentation des objets physiques** : l'objet physique est modifié en incorporant des périphériques d'entrée, de sortie ou des capacités informatiques sur ou en lui.
  - **Augmentation de l'environnement** des utilisateurs et des objets. Des périphériques indépendants fournissent et collectent de l'information de l'environnement, en affichant l'information sur les objets et en capturant l'information sur l'interaction de l'utilisateur avec ceux-ci.

# VERS LES SYSTÈMES MIXTES ...

- Selon Th. Baudel (1995) :

*La Réalité Augmentée vise, ... , à « augmenter » les propriétés des objets de notre entourage de capacités de traitement d'information. En sus de leur fonction matérielle (ergotique), ils acquièrent une dimension informatique (sémiotique), par leur capacité de réagir non pas aux seuls phénomènes physiques auxquels ils sont soumis, mais aussi aux informations qu'ils captent sur l'état de leur entourage (personnes, environnement, autres objets « augmentés » ...).*

# VERS LES SYSTÈMES MIXTES ...

- Et bien d'autres définitions, au départ assez souvent associées à la réalité virtuelle (orienté vision) !
- Définitions assez larges qui s'appliquent aussi bien à la réalité augmentée que l'informatique ubiquitaire/ambiante.

Néanmoins :

- la réalité augmentée garde une approche assez centrée autour de « l'ordinateur » qu'il soit fixe ou porté
- alors que l'informatique ubiquitaire repose plus sur une informatique disséminée, embarquée dans les objets.



# SYSTÈMES MIXTES : KEZACO?

« *it merges electronic systems into the physical world instead of attempting to replace it* »

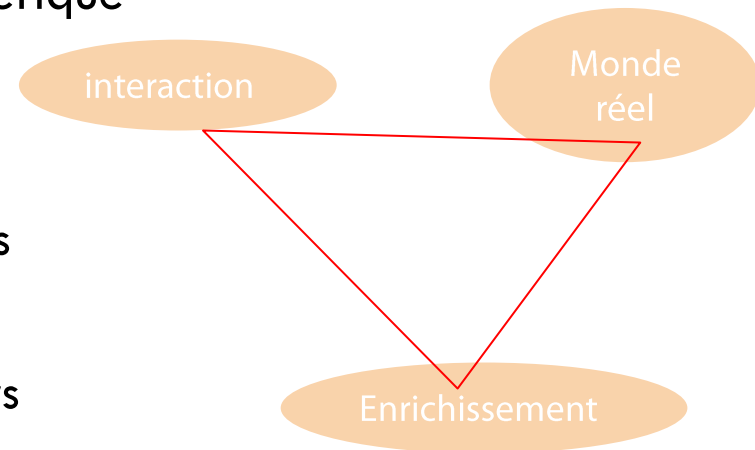
Mackay, W. (March 1996). Réalité Augmentée : le meilleur des deux mondes. *La Recherche, Special issue L'ordinateur au doigt et à l'œil*. Vol. 284

De notre point de vue, il s'agit donc :

- d'un système interactif
- qui combine les mondes physique et numérique

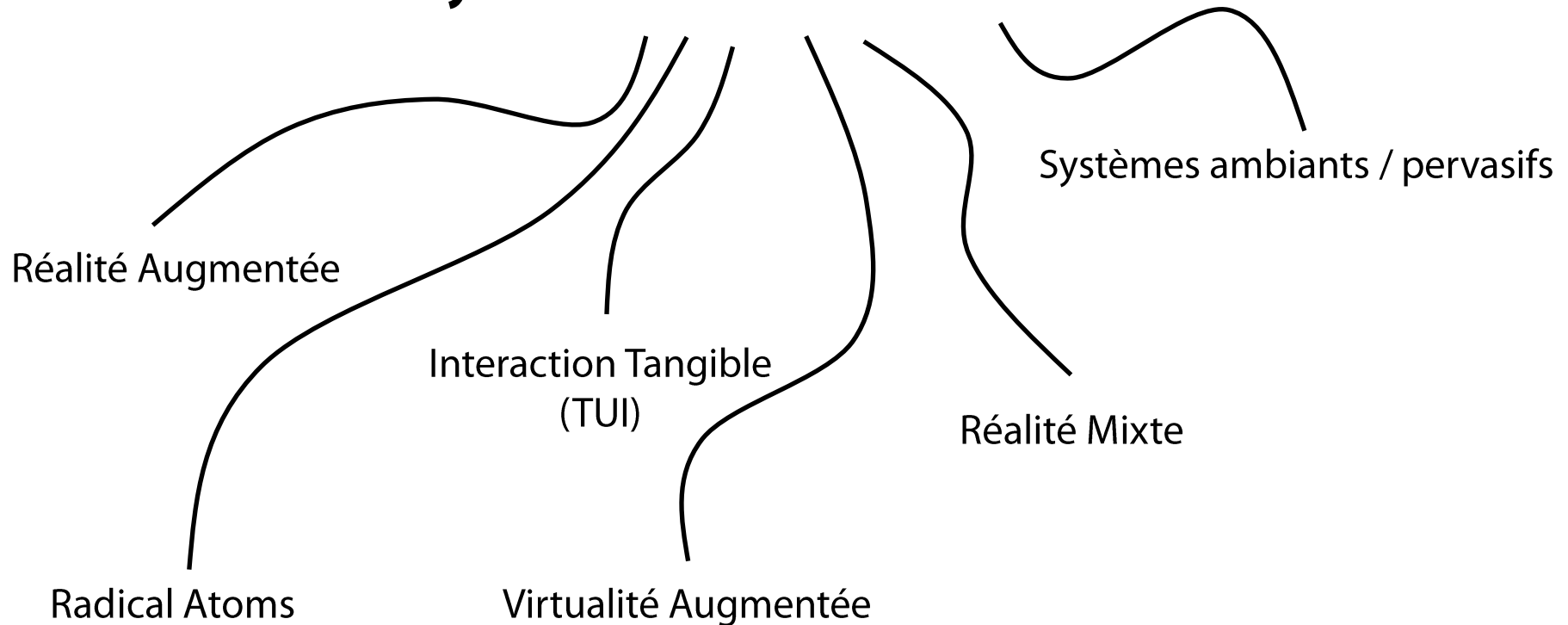
Afin de bénéficier :

- des capacités des systèmes informatiques
- des ressources physiques
- et des aptitudes physiques des utilisateurs



# SYSTÈMES MIXTES : KEZACO?

## Systèmes Interactifs Mixtes

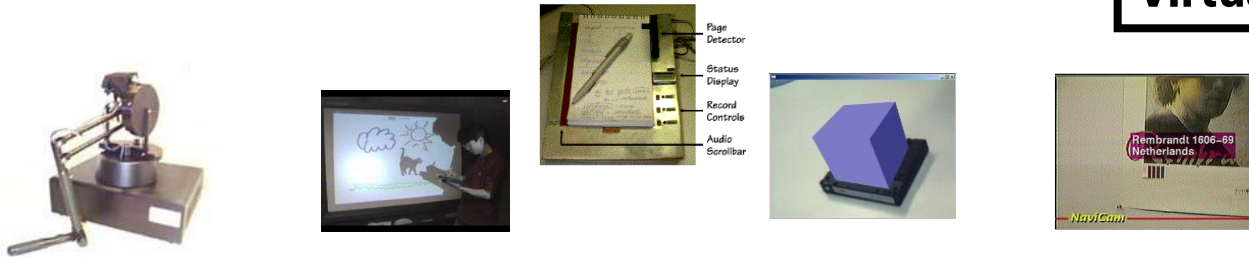


De très nombreuses variantes → grande variabilité

# SYSTÈMES MIXTES : KEZACO ?

- Continuum réel-virtuel (Milgram, 1994)

**Virtualité Augmentée**



Force

Action

Son

3D

2D

Monde Réel

Monde Numérique

IHM vestimentaire

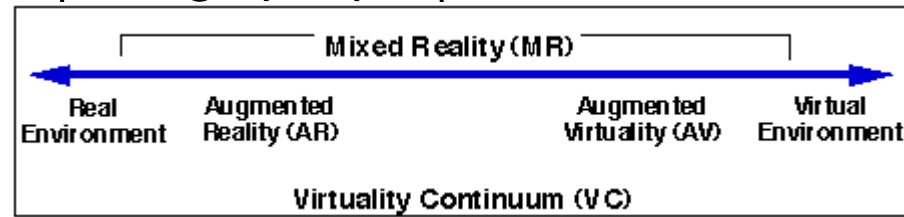
IHM gestuelle

IHM clavier

IHM tangible

IHM graphique

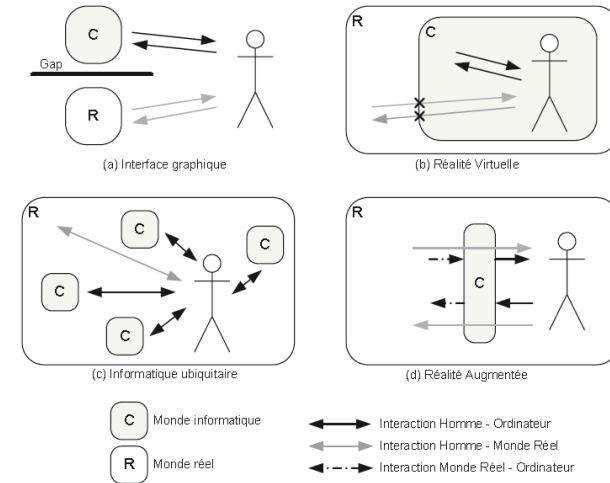
**Réalité Augmentée**



# SYSTÈMES MIXTES : KEZACO ?

- J. Rekimoto (1995) propose enfin une classification des styles d'IHM

- avec une **interface WIMP** : l'interaction entre l'utilisateur et l'ordinateur est totalement séparée de l'interaction entre l'utilisateur et le monde réel : il y a un gouffre.
- dans la **Réalité Virtuelle** : l'ordinateur entoure complètement l'utilisateur et l'interaction avec le monde réel disparaît.



Tiré de [Chalon, 2004]

- dans l'**informatique ubiquitaire** : l'utilisateur interagit avec le monde réel mais aussi avec des ordinateurs incorporés aux objets réels.
- dans la **Réalité Augmentée** : l'interaction de l'utilisateur avec le monde réel est augmenté par des informations venant de l'ordinateur.

# SYSTÈMES MIXTES : KEZACO ?

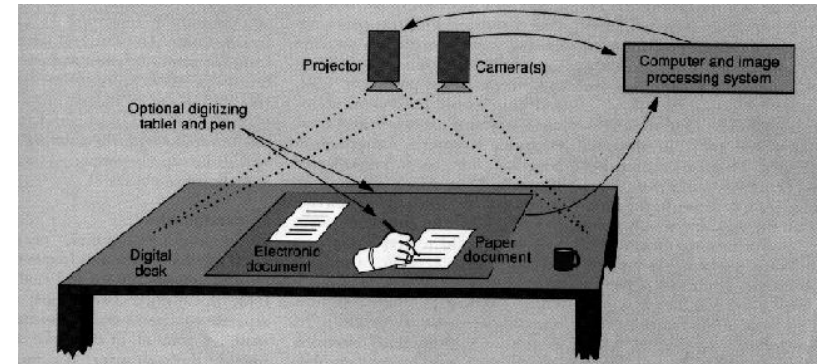
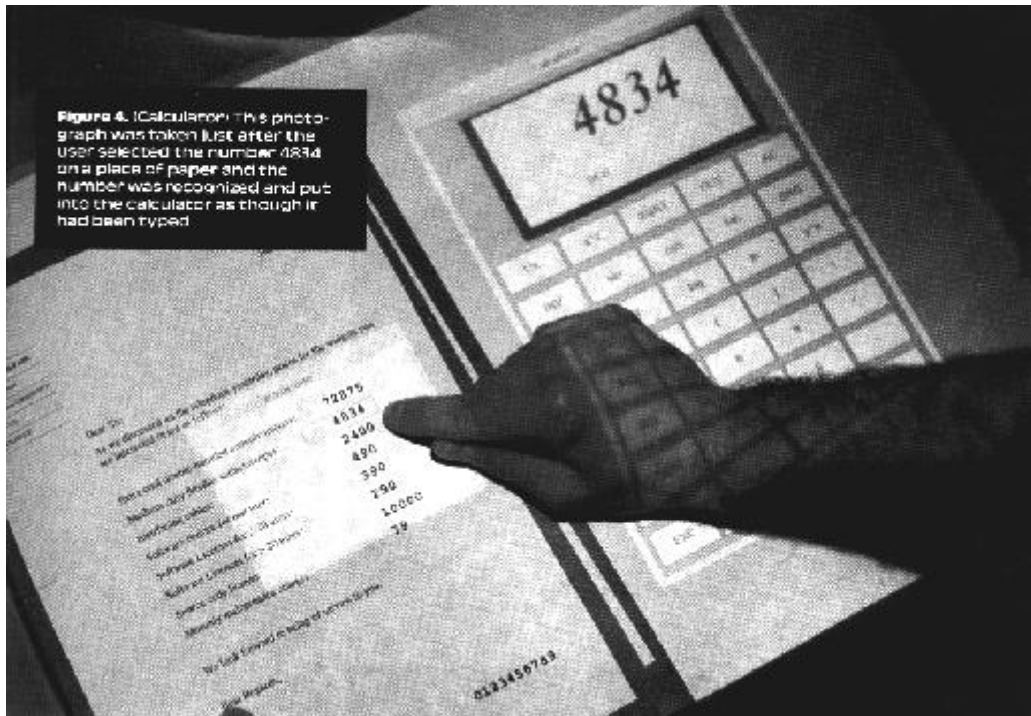
- Cette variabilité des systèmes pose des questions sur :
  - La place du monde physique en entrée et en sortie
  - La forme de communication en entrée et en sortie
  - La cohérence entre mondes physique et numérique
  - La cohérence spatiale et sémantique
  - Les choix technologiques en entrée et en sortie

# QUELQUES SYSTÈMES

- De très nombreux systèmes mixtes ont vu le jour depuis 1991
- Ils ont exploré à la fois l'augmentation de l'environnement mais aussi le « naturel » de l'interaction avec des objets du quotidien ...
- En voici quelques uns (choisis de manière partielle et partiale)

# QUELQUES SYSTÈMES

- **Digital Desk (Xerox PARC, 1991)** : un des premiers systèmes de réalité augmentée



Pierre Wellner (1993), Interacting with paper on the DigitalDesk, Communications of the ACM - Special issue on computer augmented environments: back to the real world, Volume 36 Issue 7, July 1993 , Pages 87-96

# QUELQUES SYSTÈMES

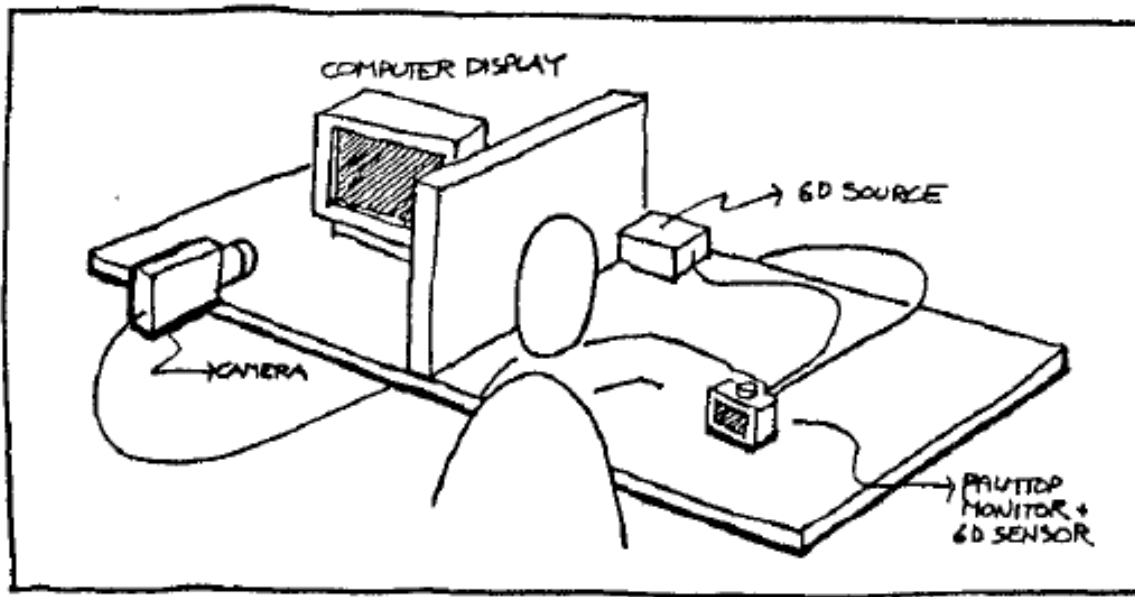
Digital Desk est basé sur un bureau physique ordinaire avec quelques fonctionnalités d'interaction

- Principes
  - Zone de travail filmée par une caméra
  - Flux vidéo transmis à l'ordinateur
  - Vidéo-projecteur placé au dessus de la zone de travail
  - Données numériques projetées sur le bureau / documents physiques
  - Reconnaissance automatique de :
    - Direction pointée par l'utilisateur (avec un crayon LED)
    - Documents posés sur le bureau
  - Interaction avec la fusion des mondes numériques et physiques



# QUELQUES SYSTÈMES

- **The Chameleon** (Fitzmaurice, 1994)
  - Prototype qui combine un PDA, une visu 3D et détection en position et en orientation



# QUELQUES SYSTÈMES

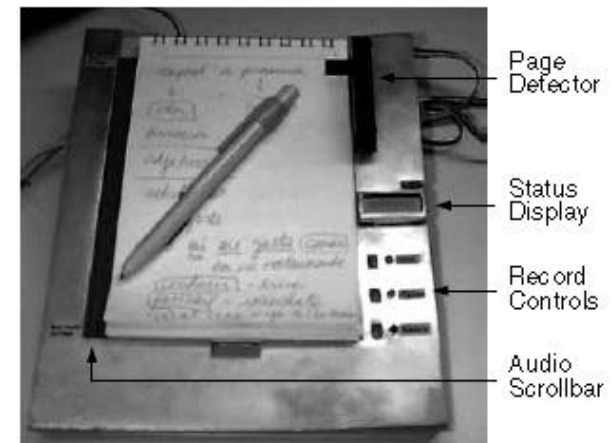
- **Navicam** (Rekimoto, 1995)
  - Augmentation de l'environnement au travers d'un dispositif portable



# QUELQUES SYSTÈMES

- **Paper-based audio notebook (Stifelman, 1996)**

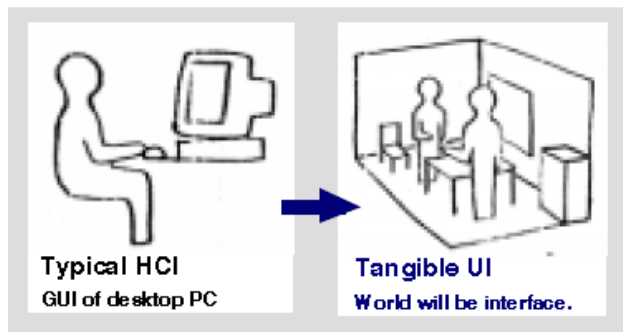
- Système de prise de notes « multimodal »
- Interaction avec de l'enregistrement de parole
- Avantages :
  - Familiarité avec le papier, portabilité, aspect tangible
  - Avantages de l'enregistrement audio



# QUELQUES SYSTÈMES



- **Tangible bits** (Ishii, 1997)
- Notion d'interface tangible (TUI)
  - Les interfaces tangibles vont augmenter le monde physique réel en couplant de l'information numérique aux objets et environnements physiques de tous les jours
- Les auteurs voient donc une évolution de l'informatisation de la métaphore du bureau :
  - vers notre corps,
  - dans l'intégration dans les environnements physiques dans lesquels nous vivons.



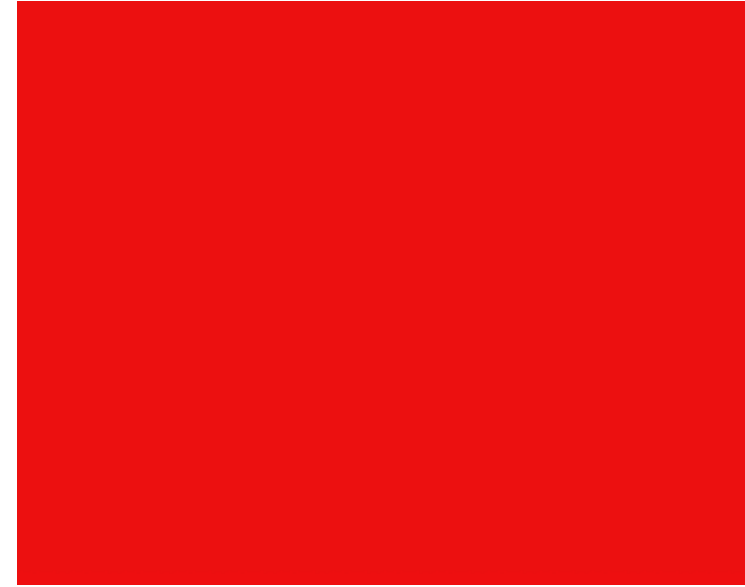
Exemple de Phicons

# QUELQUES SYSTÈMES

- Et plus près de nous ...
- Le développement à la fois de librairies accessibles et réutilisables et de matériel « low cost » permet une explosion de ces types de systèmes

# QUELQUES SYSTÈMES

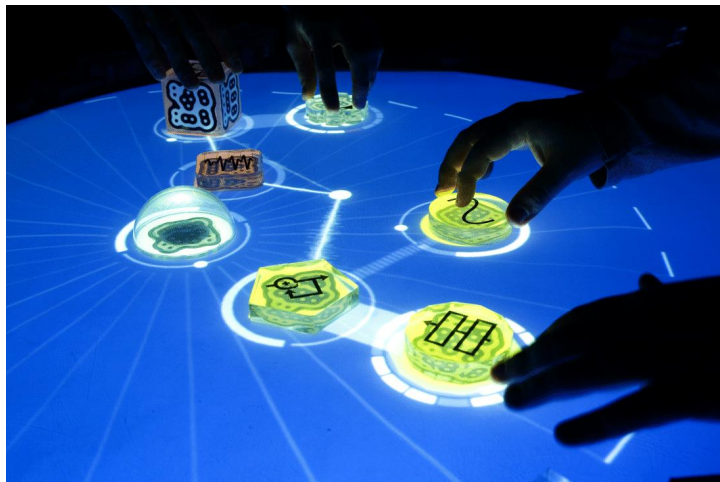
- **AR Urban Design (Seichter, 2005)**
  - Sélecteur tangible
  - Intérêts
    - Solution pour la manipulation physique de concepts numériques (TUI)
    - Association physique/numérique dynamique





# QUELQUES SYSTÈMES

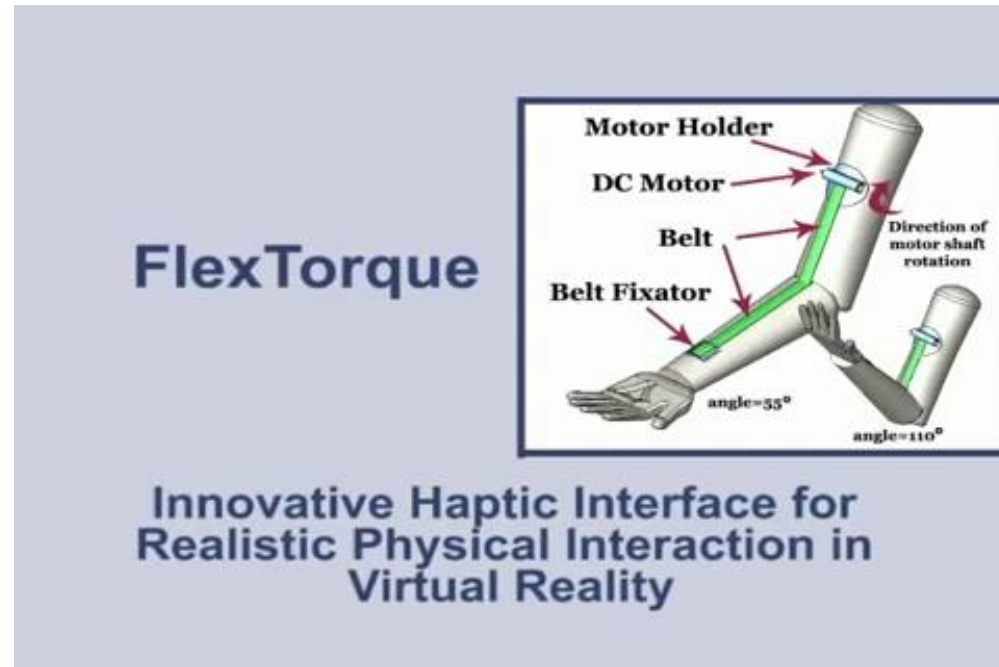
- **Reactable** (Jordà 2008)
  - Interaction tangible pour la musique
  - Feedback visuel sur table
  - Basée sur la reconnaissance de patterns visuels (« fiducials »)



Groupe Ez3kiel

# QUELQUES SYSTÈMES

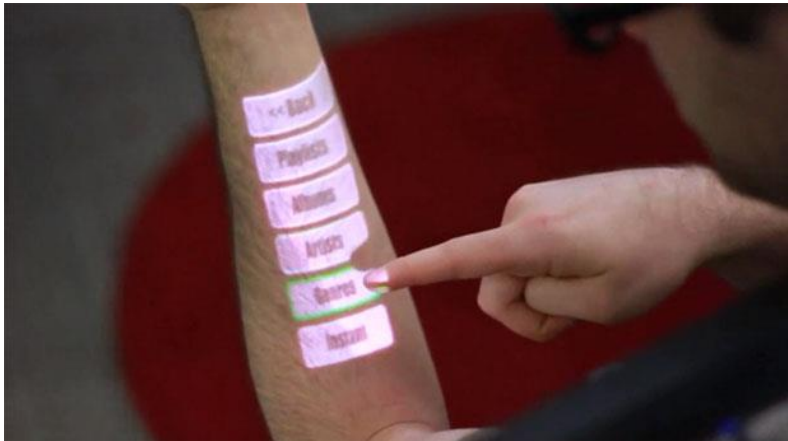
- **FlexTorque** (Tsetserukou, 2010)
  - Système à retour d'effort sur le bras
  - peut être couplé à un retour visuel





# QUELQUES SYSTÈMES

- **Omnitouch** (Harrison, 2011)
  - Association d'un système de détection type « kinect » (caméra de profondeur et pico-projecteur)
  - Rend toute surface (bras, bloc-notes) potentiellement interactive



# QUELQUES SYSTÈMES

- **EyePet** (Sony, <http://www.eyepet.com>)
  - Jeu pour enfants sur l'écran



# QUELQUES SYSTÈMES

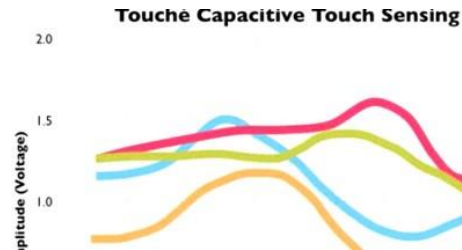
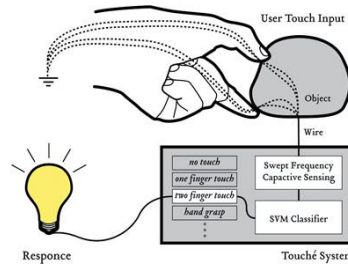
- **Touché (Sato, 2012)**
  - Toute surface devient interactive !
  - Capacité de reconnaître certaines actions simples.

## Touché:

Enhancing Touch Interaction on  
Humans, Screens, Liquids, and Everyday Objects

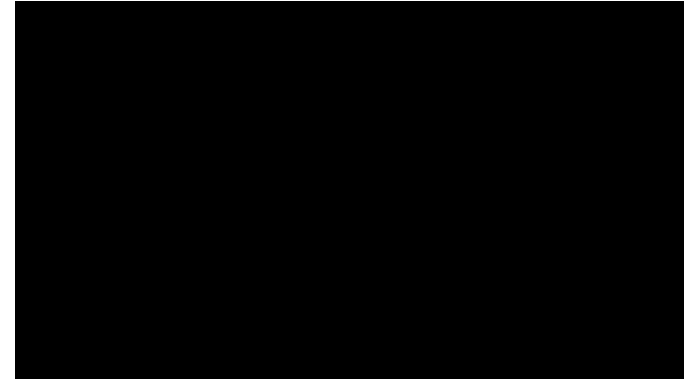
Munehiko Sato, Ivan Poupyrev, Chris Harrison

CHI 2012 Paper Video Figure



# QUELQUES SYSTÈMES

- **Tactus Technology** (2013)
  - <http://tactustechnology.com>
  - Surface déformable dynamiquement pour donner un feedback haptique



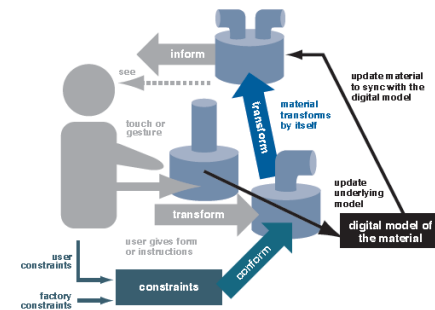
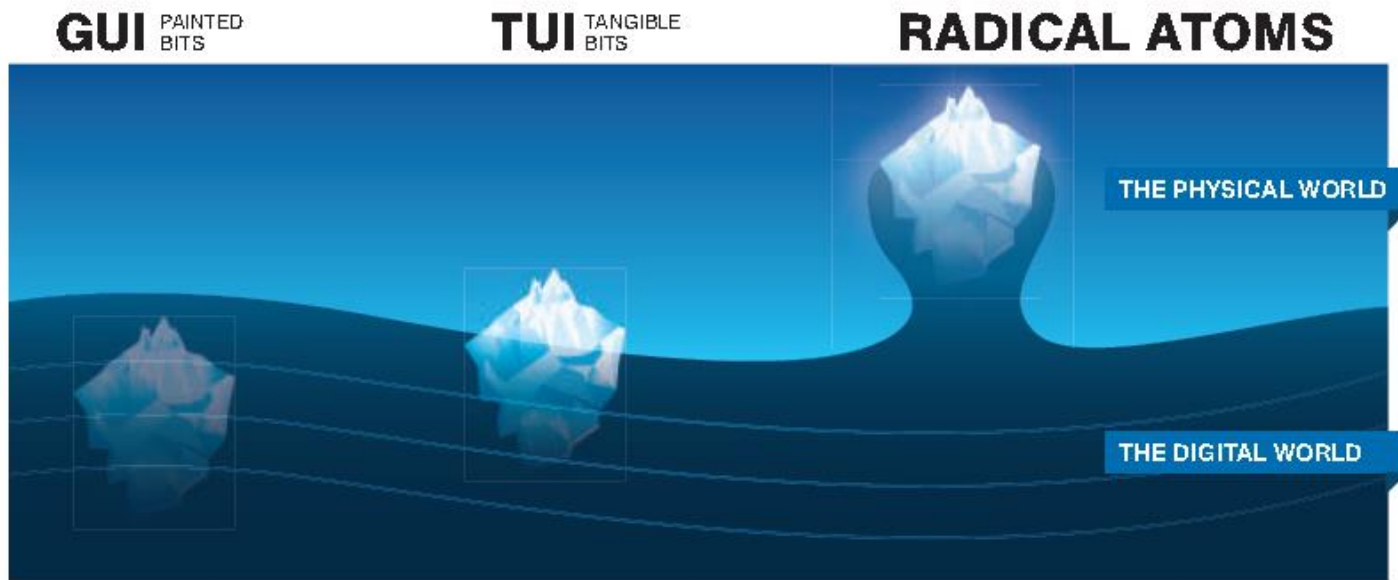
- Technologie « similaire » : **STIMTAC** (Amberg 2011)



# QUELQUES SYSTÈMES



- **Radical Atoms** (Ishii, 2012)
- Notion de matériaux physiques multi-formes et multi-apparences qui peuvent changer dynamiquement
  - Passage du « statique » au « dynamique »
  - Vers un monde « robotique » au sens large



# QUELQUES SYSTÈMES

- Un système augmenté en dérision 😊
  - <http://www.usbwine.com> pour « télécharger son vin ! »



**USB wine**

**OFFRE SPECIALE**  
**9,95€**  
au lieu de 29,90€  
jusqu'au 31/12/2007

**NEW !**

DISPONIBLE EN 3 COULEURS

COMPATIBLE MAC/PC

En exclusivité et après des années de développement, voici **USB wine**, la première clé USB permettant de télécharger à n'importe quel moment de la journée et de n'importe quel ordinateur le vin de votre choix.

**DEJA DISPONIBLE UNE E-CAVE DE PLUS DE 1200 GRANDS CRUS A TELECHARGER**

	Château Notre Dame Première côte de Paname <b>3.50 €</b> les 0.75 litre de vin à télécharger		Domaine Marliex Grand Cru de France <b>6.90 €</b> les 0.75 litre de vin à télécharger
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	------------------------------------------------------------------------------------------------

**ACCEDER AU WINE STORE**



# QUESTIONS

- Il existe des différences dans tous ces systèmes mais aussi des points communs
- 3 dimensions sont à considérer dans un système interactif mixte
  - La **signifiante** des artefacts
    - Exprimer la cohérence des entités physiques impliquées avec leur rôle attendu dans l'environnement mixte
  - La **consistance** entre l'utilisateur et les comportements attendus
    - Exprimer la cohérence de la manipulation physique pour produire l'effet escompté dans l'environnement mixte
  - La **compatibilité** de l'interaction physique/numérique
    - Exprimer les similarités entre les interaction physiques et les interactions numériques

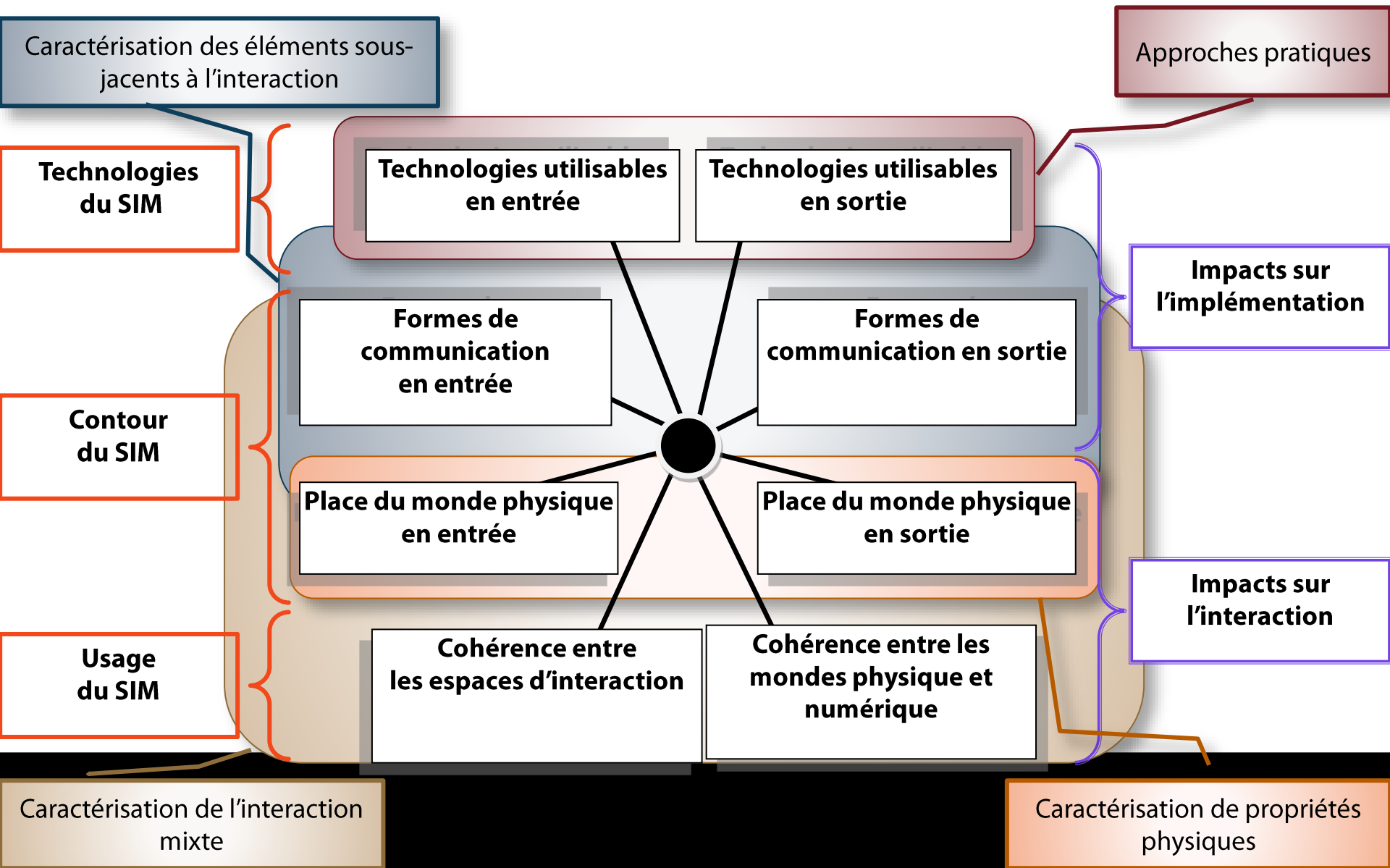
# QUESTIONS

- Cohérence entre les espaces d'interaction IN (en entrée) / OUT (en sortie) → type de “continuité” induite : 2 facteurs
  - Superposition des espaces d'interaction en entrée (IN) et en sortie (OUT)
  - Importance du focus en entrée (IN)

	Espace IN = Espace OUT	Espace IN $\neq$ Espace OUT
Faible focus sur l'espace IN		
Fort focus sur l'espace IN		



# QUESTIONS

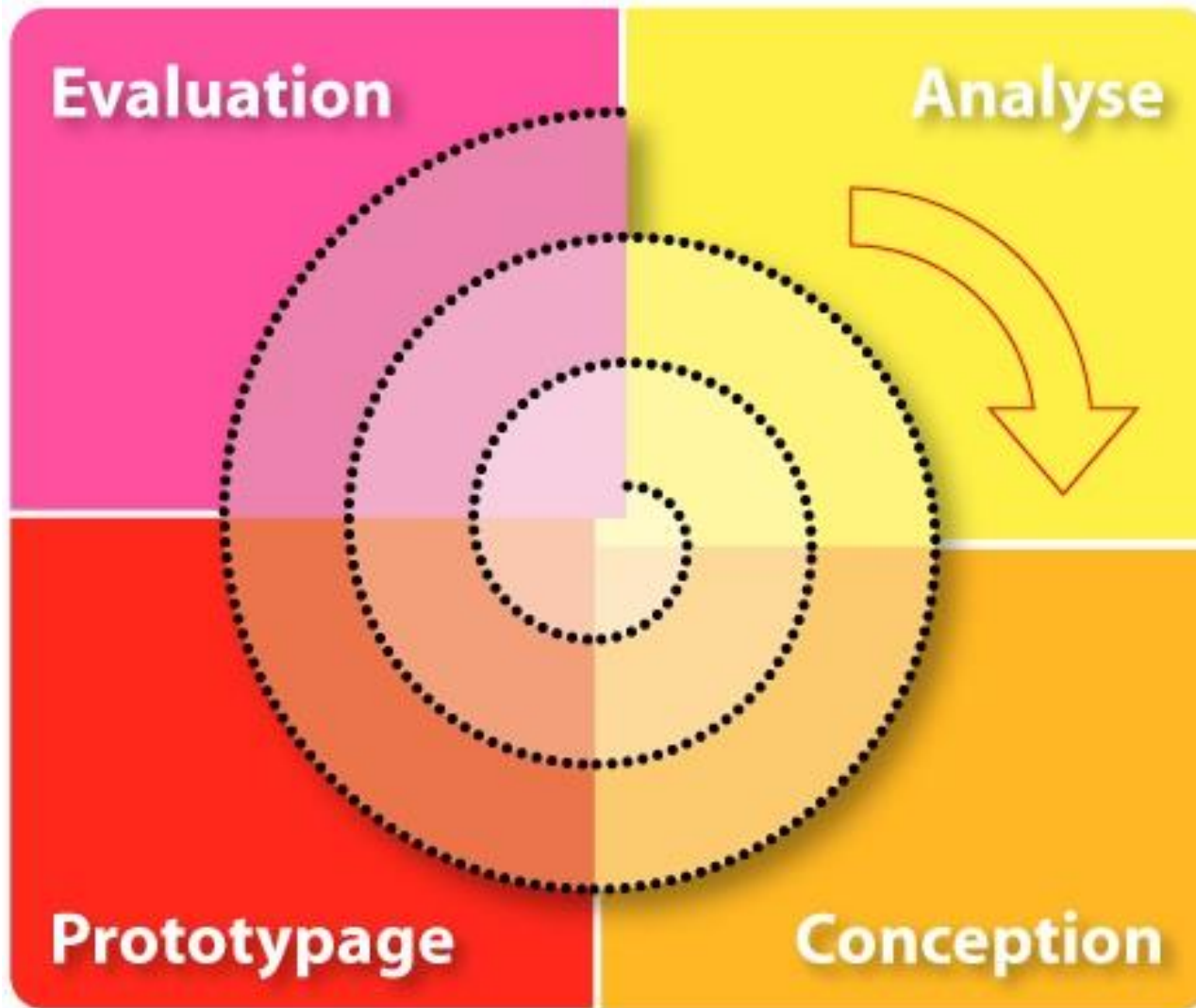


# QUESTIONS

- Un système mixte ouvre de « nouvelles dimensions » en termes d'interaction
  - Explosion du monde des possibles !
- On doit prendre en compte de très nombreuses considérations
  - En terme de graphisme (rendu), design, électronique, informatique, ergonomie ....

Comment concevoir un tel système ?

# UN CYCLE ...



# UN CYCLE ...

- Un des problèmes majeurs pour la conception de systèmes mixtes reste la variabilité des systèmes → besoin de cadre pour la conception
- Pourquoi des méthodes de conception ?
  - Pour explorer un ensemble de solutions possibles
  - Pour expliquer les choix de conception
  - Pour faciliter la communication dans l'équipe de conception
  - Pour inclure des éléments d'évaluation

# ANALYSE

- Usage de taxonomies ...
  - Pour comprendre
  - Pour analyser
  - Pour comparer
  - Pour imaginer d'autres systèmes
  
- On a pu voir quelques taxonomies : celle de P. Milgram (1994) ou de Rekimoto (1995) ... il en existe bien d'autres !

# ANALYSE

- Quelques limites
  - Diversité des aspects pris en compte
    - Technologies utilisées ou formes d'interaction
  - Parfois ... contradiction des conclusions

→ comparaison très difficile

- Insuffisance des approches
  - L'utilisabilité est influencée par les dispositifs utilisés et les données















→ extrapolations impossibles

# CONCEPTION

- Besoin de modèles
  - Pour aider à répondre à beaucoup de questions
    - Quelle forme de rendu
    - Par quel dispositif ?
    - Quel impact sur l'interaction
    - Quelles alternatives possibles
    - ...
- Objectifs
  - Décrire, comparer, explorer l'espace des solutions en termes d'interaction, de fusion des mondes et de complexité technique
  - Inciter un concepteur à soulever au plus tôt ces questions

# CONCEPTION

- Quelques modèles formels (non exhaustif)
  - Décrire des propriétés physiques
    - Reality Based Interaction : Savoirs préexistants liés à la vie quotidienne (Jacob 2008)
    - TAC : Relation entre objets physiques (Shaer, 2004)
  - Décrire les mécanismes sous-jacents à l'interaction mixte
    - Mixed Interaction Model : Modalités requises (Coutrix, 2006)
  - Décrire les éléments d'interaction
    - ASUR : Eléments impliqués, relations, caractéristiques (Dubois, 2003)
  - ...

	<b>Utilisateur du système</b>		<b>Proximité mixte</b> (un élément numérique et un élément physique se comporte de manière identique) Exemple : la tasse à café représente le pointeur à l'écran
	<b>Objet Physique Central</b> (sans lequel la tâche n'a pas de sens) Exemple : document papier à compiler, maquette, ...		<b>Proximité physique</b> (2 éléments physiques sont solidaires) Exemple : la tasse à café représente le pointeur à l'écran
	<b>Outil Physique, instrument</b> Exemple : stylo, aiguille, lampe torche, tasse à café, ...		<b>Action</b> (si 2 éléments se rapprochent une action est déclenchée) Exemple : rapprocher le livre de l'écran enclenche le traducteur
	<b>Capteur</b> (Dispositif d'interaction en entrée du système) Exemple : caméra, capteurs divers, ...		<b>Effecteur</b> (Dispositif d'interaction en sortie du système) Exemple : écran, haut parleur, bras haptique, ...
	<b>Objet numérique Central</b> (sans lequel la tâche n'a pas de sens) Exemple : environnement virtuel, film vidéo, musique, ...		<b>Flux d'information</b> (sans d'une tâche, d'une information) Représentation : déplacement, graphique, scène 3D, ... Medium : lumière, force, pression, numérique, ... Langage : geste, mouvement, entier, texte, ... Dimension : 1D, 2D, 3D, ...
	<b>Outil numérique</b> (capable de traiter l'information) Exemple : calculateur, convertisseur, générateur, ...		<b>Organe de perception / mécanisme de capture</b> Exemple utilisateur : oreilles, peau, yeux, ... Exemple : lentille, capteur photoélectrique, ...
	<b>Information numérique</b> Exemple : feedback, information numérique diverse, ...		<b>Organe d'action / mécanisme d'action</b> Exemple utilisateur : bras, poignet, doigts, bouche, ... Exemple : moteur, ressort, vibreur, ...

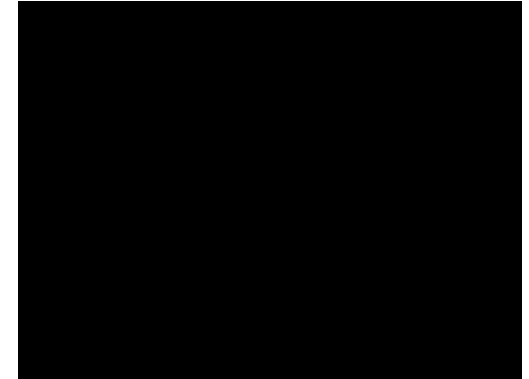
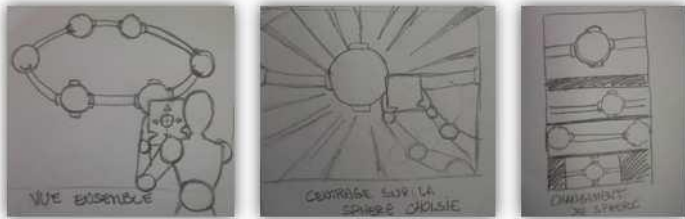


# CONCEPTION

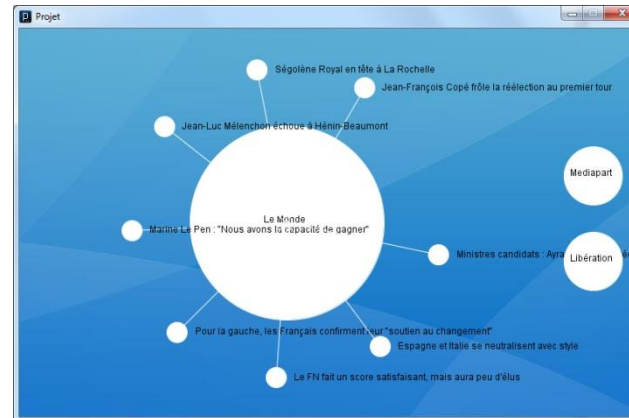
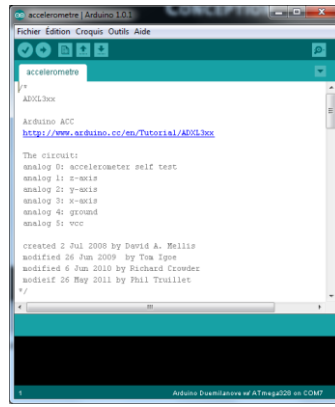
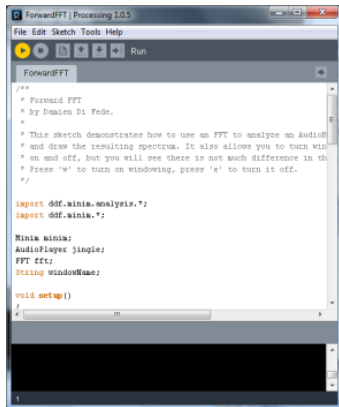
- Méthodes « IHM » - Conception Centrée Utilisateur, Conception Participative, ... (informelles)
  - complément au développement structuré
  - les concepteurs développent un ou plusieurs modèles opérationnels pour démontrer une idée
  - le prototype implémente des idées les rendant ... **visibles** et **testables** !

# CONCEPTION

- donner à voir, comprendre et tester !
  - Prototypes basse-fidélité : papier, vidéo



- Prototypes haute-fidélité : scripts, code distribué, ...



# CONCEPTION

- les résultats permettent :
  - de guider les développements futurs
  - de valider ou rejeter des aspects de la conception
  - de comprendre les usages

# DÉVELOPPEMENT

- Dispositifs d'entrée/sortie pour les SIM
  - De très nombreux dispositifs sont apparus ces dernières années , parfois souvent à très bas coût !
    - Wiimote
    - Kinect
    - Pico-projecteurs
    - Casques semi-transparents
    - ...

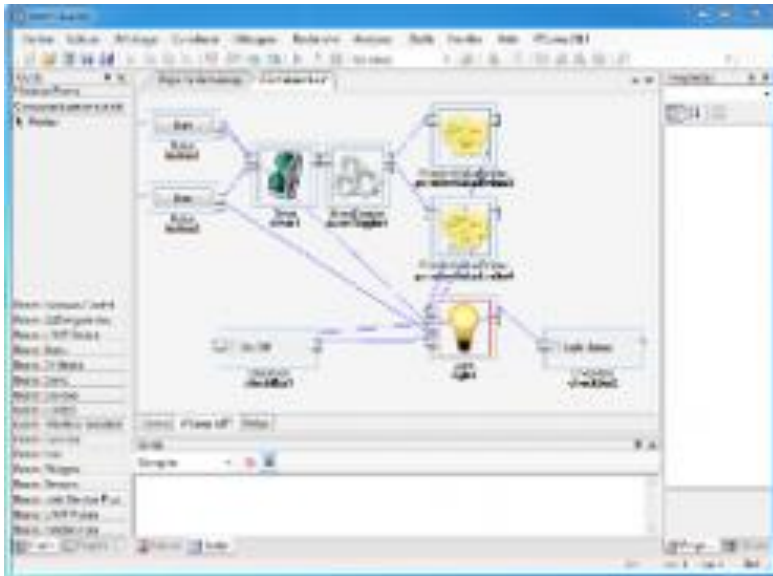


# DÉVELOPPEMENT

- Quelques « outils de prototypage rapide » intéressants
  - Frameworks
    - WCOMP
    - Papier-Maché
    - Dwarf
  - Librairies
    - ARToolkit / NyARToolkit
    - ...
  - Matériel / API
    - Phidgets
    - Arduino / Processing.org
    - Kinect
    - ...
  - Bus logiciels (développement distribué)

# DÉVELOPPEMENT

- **WCOMP** (<http://www.wcomp.fr>)
  - Framework pour prototyper des systèmes ambiants à base de composants
  - Interface graphique, C#

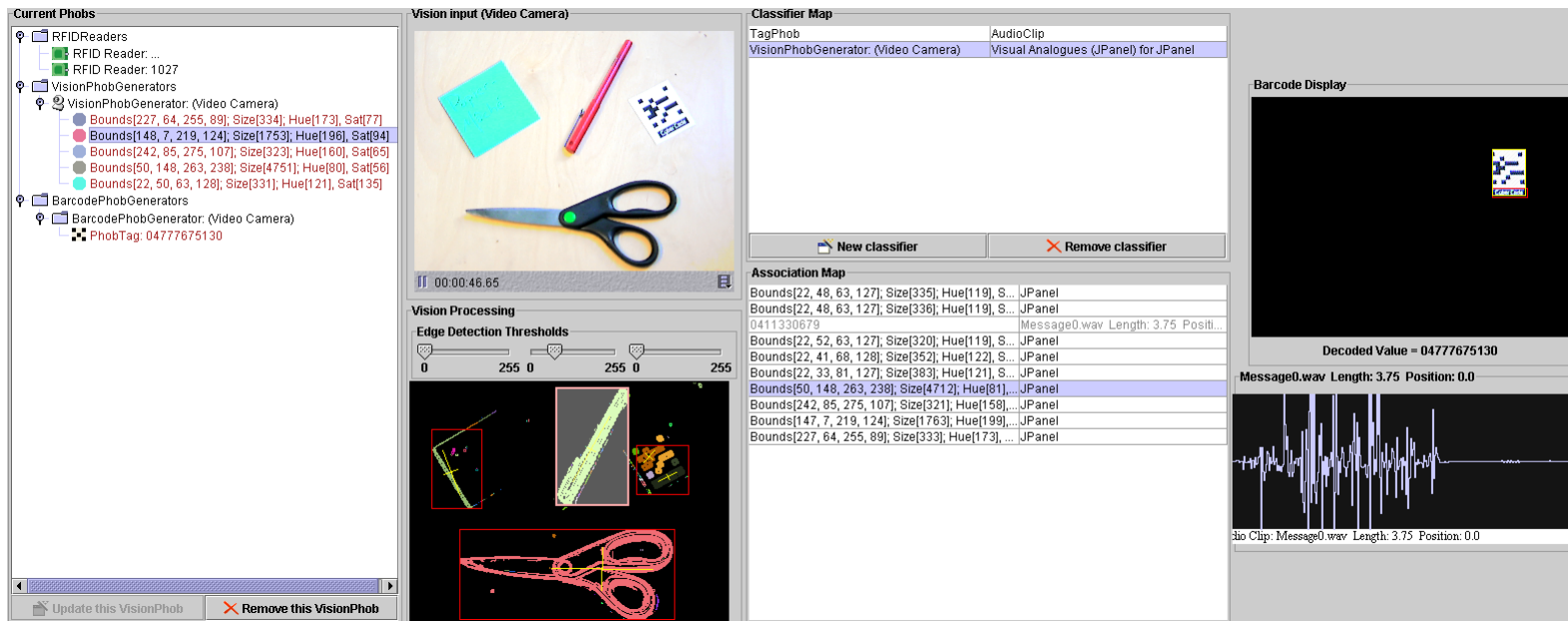


# DÉVELOPPEMENT

- **Papier-Mâché**

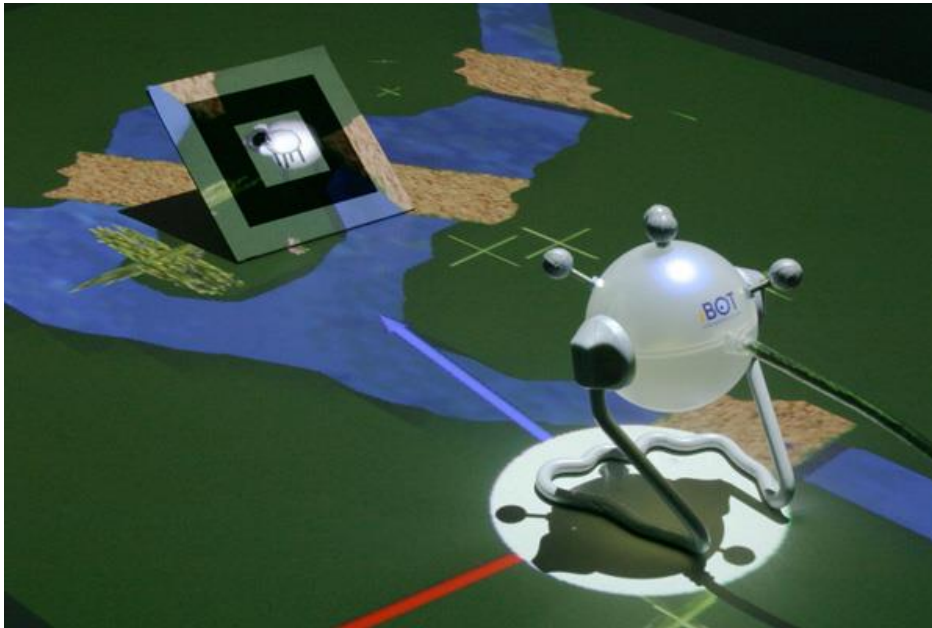
(<http://dub.washington.edu:2007/projects/papier-mache>)

- Toolkit basée vision et RFID pour le développement rapide d'applications TUI



# DÉVELOPPEMENT

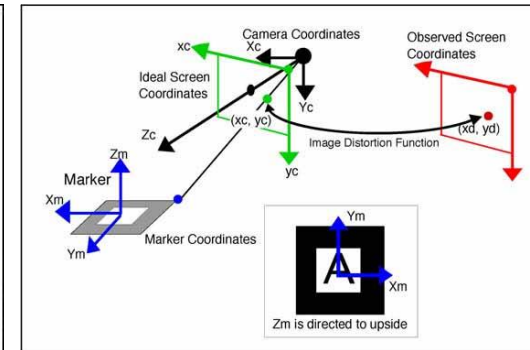
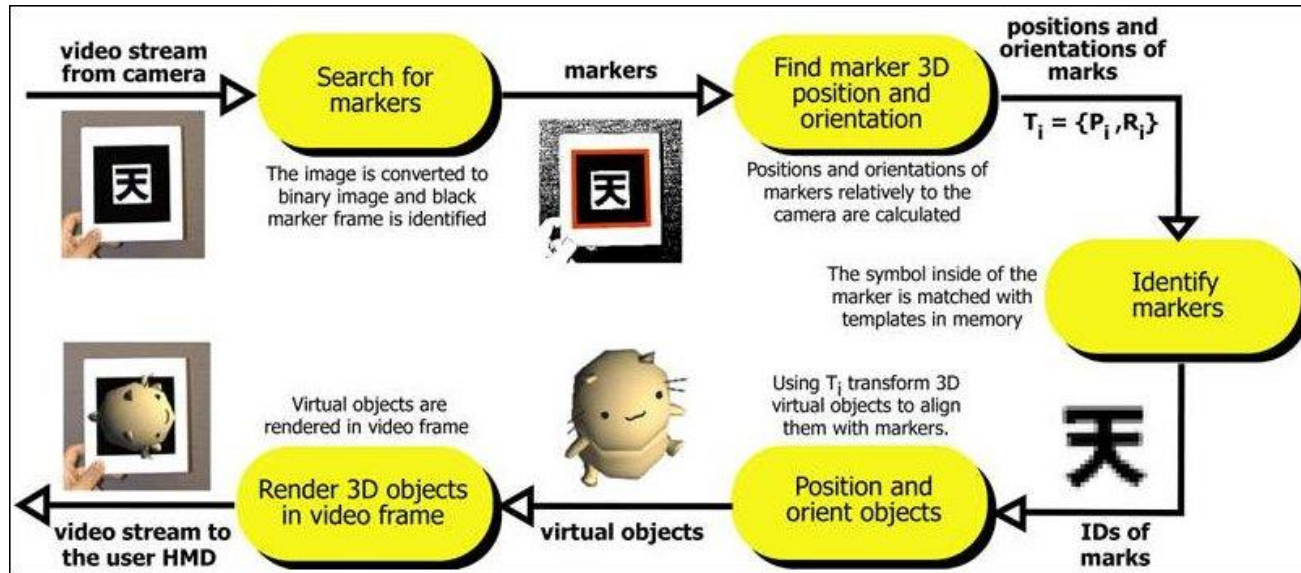
- **Dwarf** (<http://ar.in.tum.de/Chair/ProjectDwarf>)
  - Framework sous CORBA permettant le développement, le débogage et les modifications de systèmes mixtes distribués





# DÉVELOPPEMENT

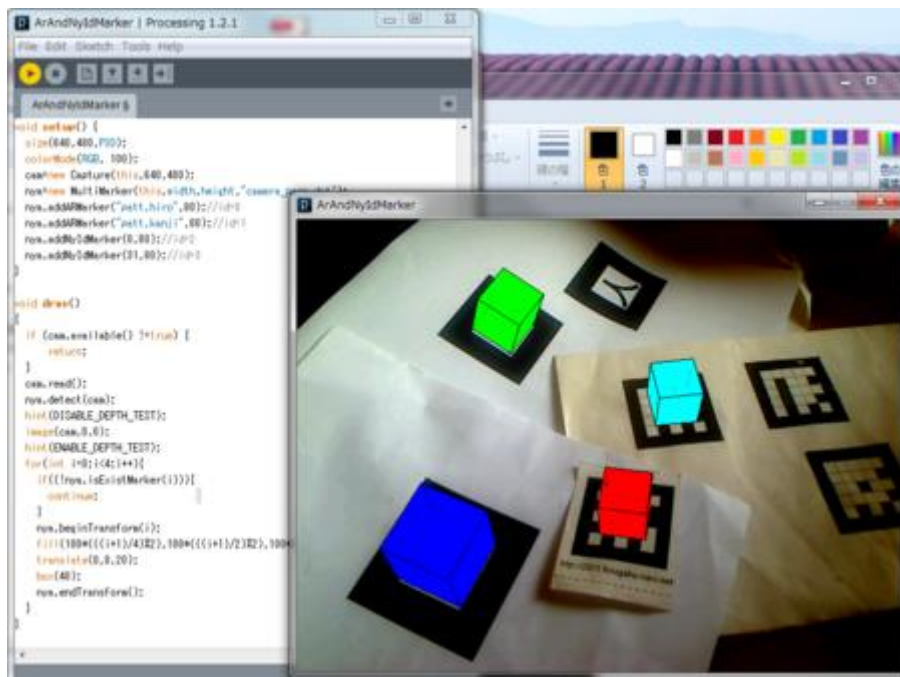
- **ARToolkit** (<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit>)



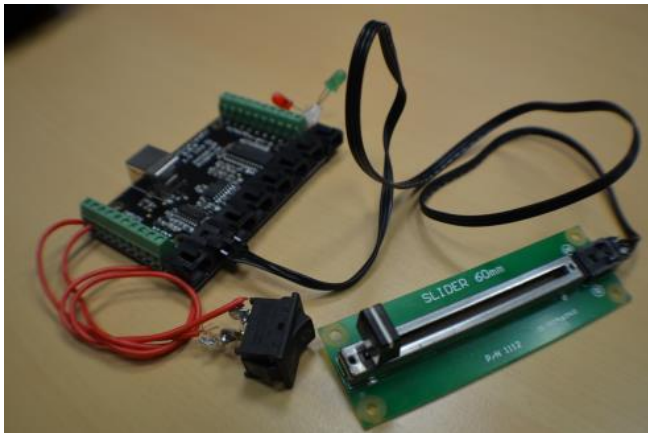
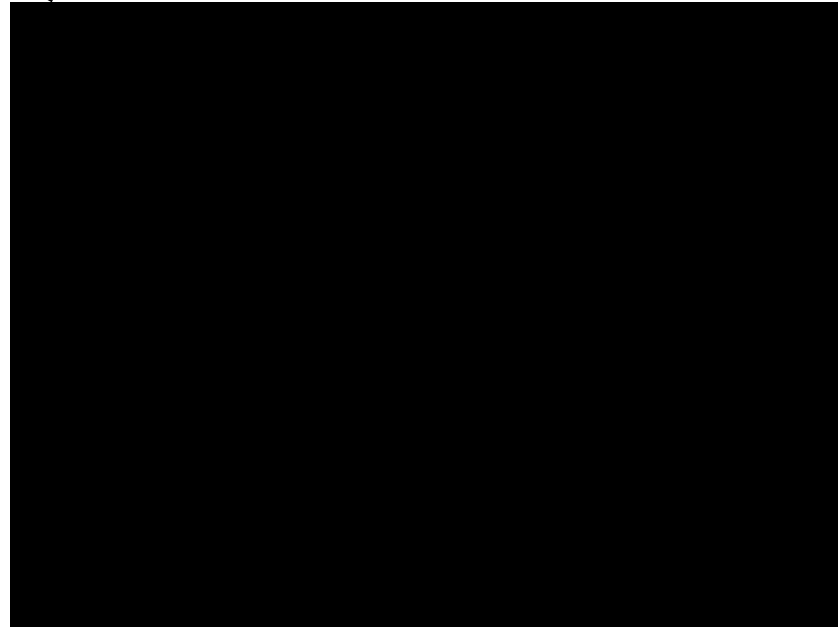
- version en C mais a donné lieu à plusieurs autres implémentations (ARToolkitPlus / univ. Graz.), ...

# DÉVELOPPEMENT

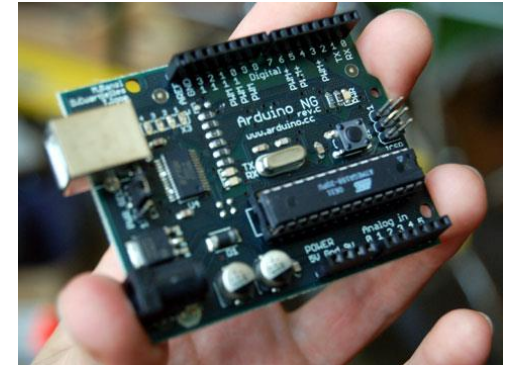
- **NyARToolkit** (<http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp>)
  - L'ARToolkit réécrite en version multi-langages



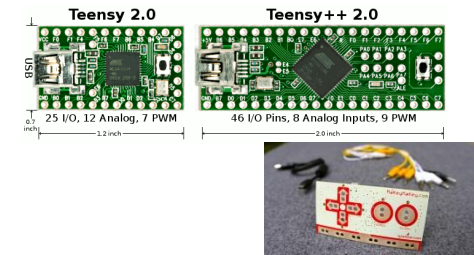
- **Phidgets** (<http://www.phidgets.com>)
  - Ensemble de dispositifs physiques connectables et utilisables simplement
  - Accessibles par plusieurs langages (et même via des web-services)



- **Arduino** (<http://www.arduino.cc>)
  - Micro-contrôleur «à bas coût » (environ 20 €)
  - Programmable en C
  - S'interface facilement avec des capteurs et effecteurs physiques
  - Communique facilement avec un PC (liaisons série – usb, bluetooth, zigbee ou ethernet – filaire, wifi)



- **Plein d'autres projets similaires :**
  - Wiring (<http://wiring.org.co>)
  - Teensy (<http://www.pjrc.com/teensy>)
  - Makey makey (<http://www.kickstarter.com/projects/joylabs/makey-makey-an-invention-kit-for-everyone>)



- **Processing** (<http://www.processing.org>)
  - Sur-couche de java (reprend sa syntaxe)
  - Orienté pour les designers et les artistes
- À l'aide de différentes librairies, permet de prototyper des systèmes mixtes

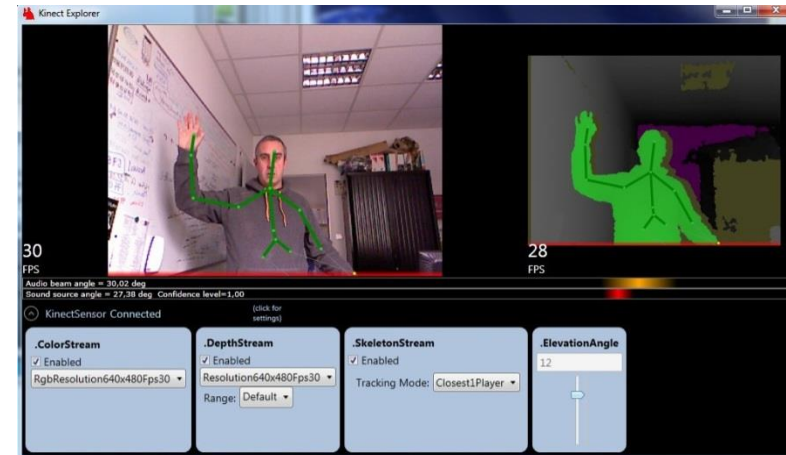




- **Processing** (<http://www.processing.org>)

```
void draw() {  
  // if there is a cam image coming in...  
  if (cam.available()) {  
    cam.read(); // read the cam image  
    background(0); // a background call is needed for correct display of the marker results  
    image(cam, 0, 0, width, height); // display the image at the width and height of the sketch window  
    // create a copy of the cam image at the resolution of the AR detection (otherwise nya.detect will throw an asserti  
    PImage cSmall = cam.get();  
    cSmall.resize(arWidth, arHeight);  
    nya.detect(cSmall); // detect markers in the image  
    drawMountains(); // draw dynamically flowing mountains on the detected markers (3D)  
  }  
}  
  
// this function draws correctly placed 3D 'mountains' on top of detected markers  
// while the mountains are displayed they grow (up to a certain point), while not displayed they return to the zero-sta  
void drawMountains() {  
  // set the AR perspective uniformly, this general point-of-view is the same for all markers  
  nya.setARPerspective();  
  // turn on some general lights (without lights it also looks pretty cool, try commenting it out!)  
  lights();  
  // for all the markers...  
  for (int i=0; i<numMarkers; i++) {  
    // if the marker does NOT exist (the ! exclamation mark negates it)...  
    if (!nya.isExistMarker(i)) {  
      // if the mountainGrowth is higher than zero, decrease by 0.05 (return to the zero-state), then continue to the n  
      if (mountainGrowth[i] > 0) { mountainGrowth[i] -= 0.05; }  
      continue;  
    }  
  }  
}
```

- **Kinect** (<http://www.kinectforwindows.org>)
  - Implémentation officielle Microsoft en C++/C#
  - Mais est aussi utilisable avec d'autres librairies (et donc ... d'autres OS)
    - OpenNI / OpenNITE
    - OpenKinect/libfreenect
- 2 caméras : une « classique » et l'autre de profondeur + un ensemble de microphones
- Permet de suivre plusieurs utilisateurs et reconnaître leur voix (utilisation de SAPI 5.4)

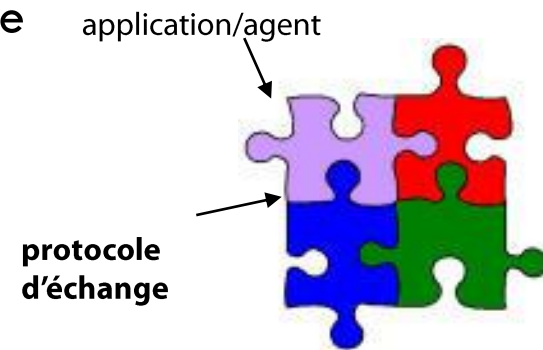


# DÉVELOPPEMENT

- *Bus logiciels*
  - de quoi a t'on besoin ?
    - de séparer le NF de l'interface
    - d'émettre et/ou de recevoir des événements et non pas d'appeler des méthodes !

→ une solution : bus « événementiels »

- Le système peut être vu comme « un assemblage » d'agents, chaque agent ayant des capacités de calcul et d'interaction avec ses voisins ...
- le travail se situe au niveau du protocole d'échange entre agents (la « **sémantique** » de l'événement)
- Exemples : iROS (Winograd, 2001), ivy, ...







- **ivy** (<http://www.tls.cena.fr/products/ivy>)
  - **bus logiciel** qui permet un échange d'informations entre des applications réparties sur différentes machines tournant sous différents OS et écrites avec des langages différents ...
  - créé en 1996 au CENA (DGAC) pour des besoins de prototypage rapide
  - Multi-OS / multi langages (repose sur TCP/IP)
- Repose sur des mécanismes simples d'envois et réception de messages textes (les « événements »)

```
/* listener ivy */
bus.bindMsg("ivyEcoBe! to=(.*) event=(.*)", new IvyMessageListener() {
    public void receive(IvyClient client, String[] args)
    {
        try
        {
            /* envoi vers le robot EcoBe! */
            if (args[1].compareTo("Stop")==0)
            {
                // Envoi que sur trames GGA -> les autres ne servent qu'à mettre à jour les champs
                bus.sendMsg(name + " type=" + DT + " temps="+time + " lat="+lat + " long="+lon + " alt="+
                altitude + " vitesse="+vitesse + " cap="+cap + " mode="+mode + " HDOP="+ HDOP + " Nb_satellites=" +
                Nb_satellites + " Force_Signal=" + Force_Signal);
            }
        }
    }
});
```

# DÉVELOPPEMENT

- De nombreux outils sont mûrs pour développer des prototypes (voire des systèmes commercialisables !) en peu de temps
- Le plus difficile est souvent de choisir le bon périphérique et la bonne plateforme
- Reste un problème de taille : comment évaluer ?!

# EVALUATION

- Comment comparer deux techniques mixtes ?
- Comment évaluer un système mixte ?
- Que doit-on évaluer : la performance ? Le plaisir à utiliser le système, la technique ... ?!
- Cela dépend essentiellement du contexte !

# UN EXEMPLE D'ÉTUDE

# COMPARAISON DE TECHNIQUES

- Comparaison de techniques d'interaction d'un environnement 3D (Google Earth)
- De multiples critères doivent être considérés
  - performance (quelle tâche ?),
  - satisfaction de l'utilisateur, ...
  - transfert de connaissances,
  - adéquation au contexte, ...
- Comment peut-on conduire une conception avec ces multiples considérations?
  - approches “technology push” et ad hoc ne sont pas pertinentes
  - intégration de considérations provenant de différentes disciplines

# NOTRE APPROCHE

- Quatre étapes pour comparer les techniques d'interaction
  - Identifier les exigences dans le contexte donné
  - Utiliser un modèle dédié pour concevoir les solutions
    - Identifier clairement les exigences de conception
  - Implementer
  - Evaluer
    - Multiples critères / méthodes
    - Lier les hypothèses aux exigences

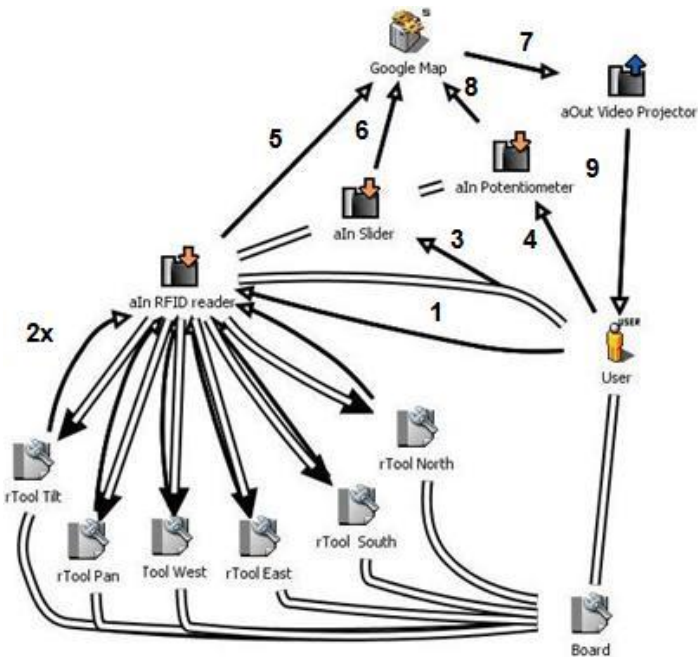
# NAVIGUER DANS UN ENVIRONNEMENT 3D

- 10 commandes majeures :
  - Aller G/D/H/B, Zoom In/Out, Tilt/Un-tilt, Tourner G/D
- Beaucoup de styles d'interaction existants
- Focus sur :
  - Le comportement modal : promouvoir l'usage d'un artéfact par commande possible
    - Accroître l'affordance
  - Le couplage entrées/sorties : renforcer l'intégration des artéfacts utilisés
    - Accroître le niveau d'immersion

# CONCEPTION (ASUR)

## GE-Stick : comportement modal

10 commandes = 6 entités physiques  
groupées + 2x2 adaptateurs



Medium	1, 3, 4: physical force	
	2: radio frequency	9: visual

## GE-SB : couplage E/S

Homogénéité E/S en termes de :

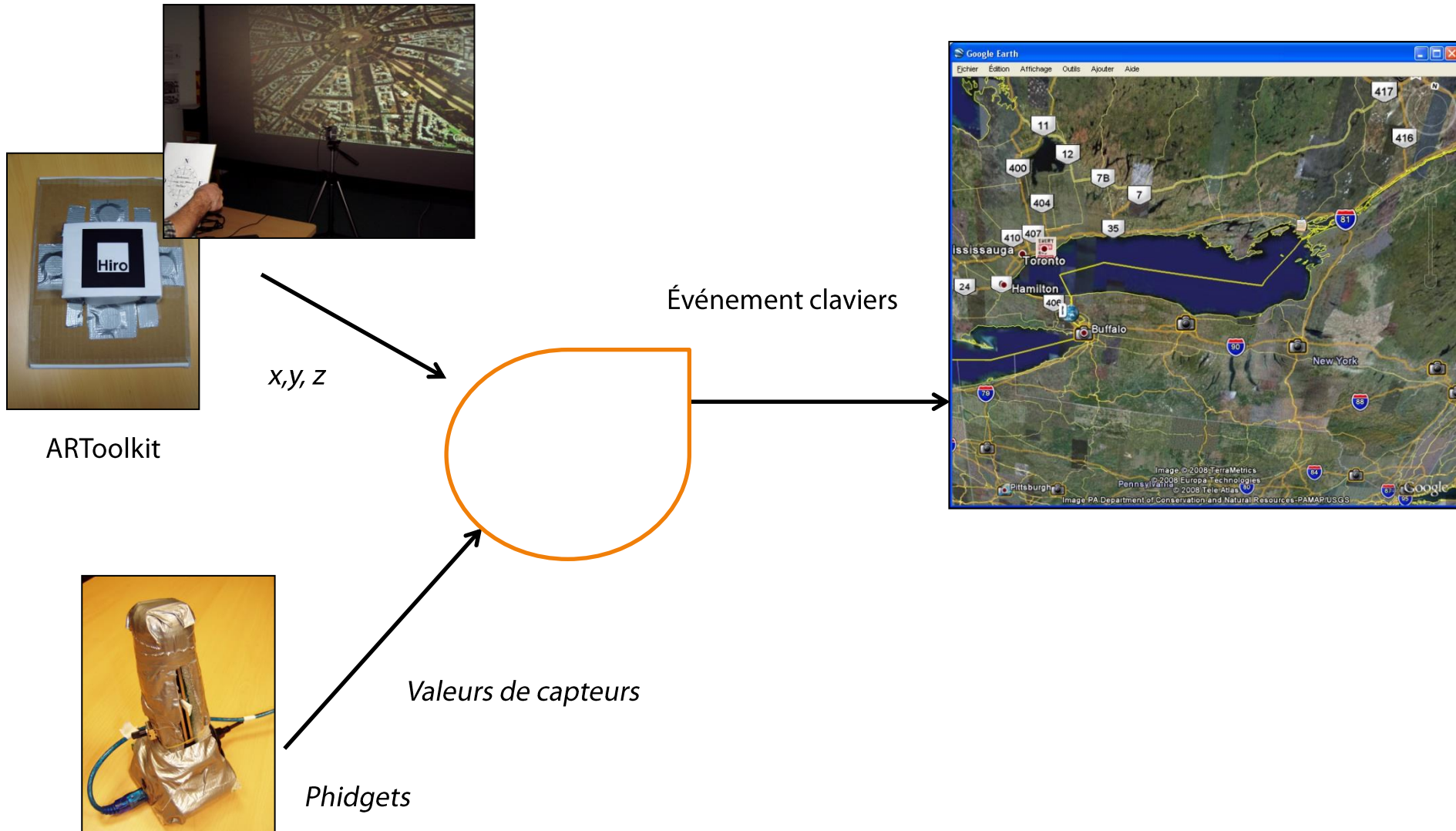
- représentations
- comportement
- échelle



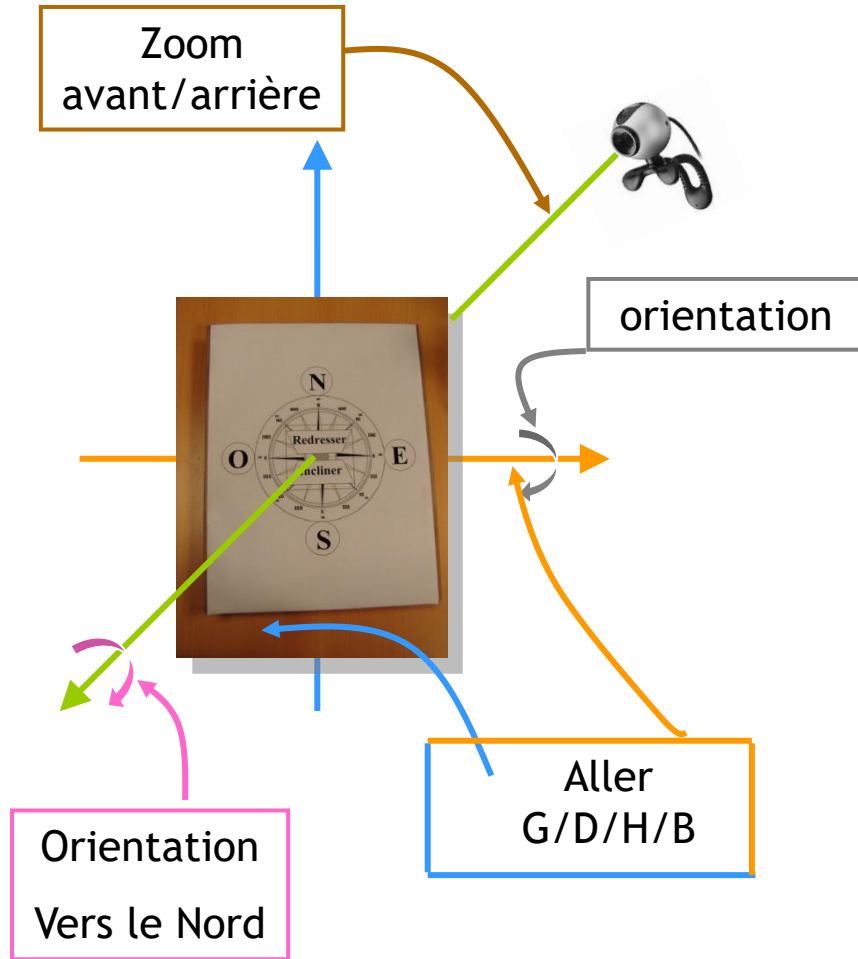
Rep.	1: set of specifiable positions of the board	5: satellite picture
	2: set of specifiable forms	
Modif.	1: user's arm/body motion	2: consequence of modification of channel 1
	5: light modulation	
Sensing	2: camera CCD + tracking mechanism	
	5: human visual sense	



# IMPLÉMENTATION



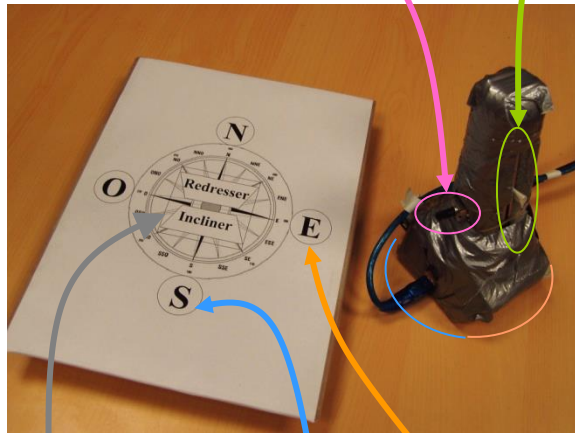
# GE-STEERING BOARD



# GE-STICK

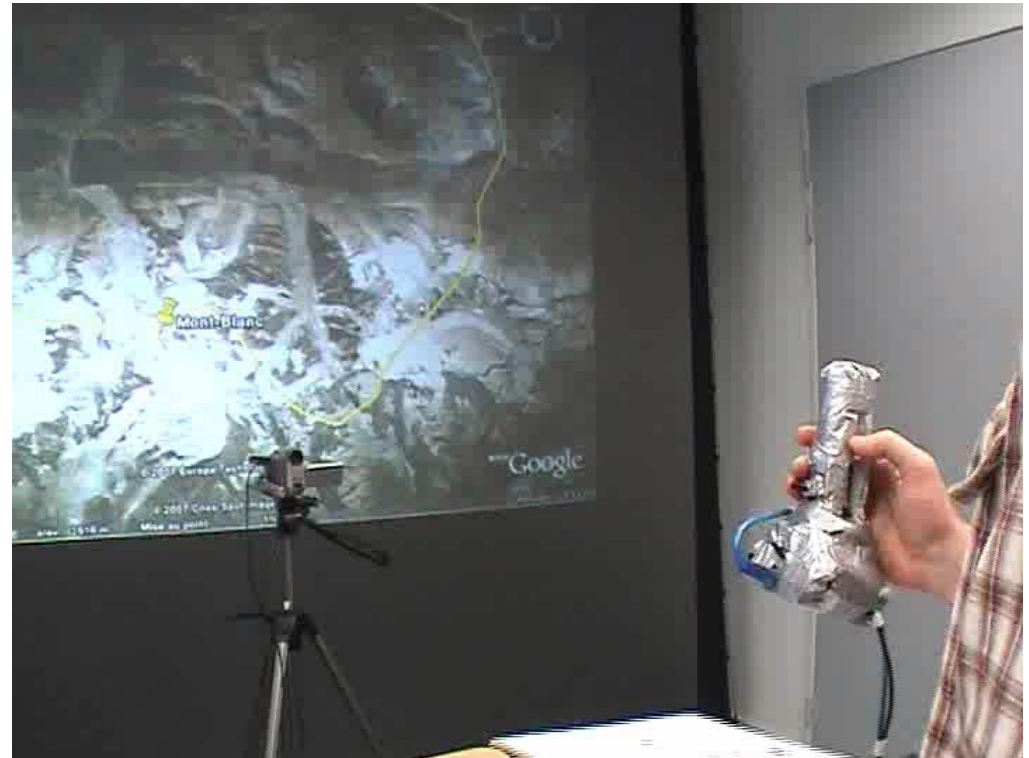
**Potentiomètre :**  
orientation vers le  
Nord

**Slider :** Zoom  
avant/arrière



**RFID :**  
orientation

**RFID :**  
AllerD/G/H/B



# PROCÉDURE D'ÉVALUATION

- Comparaison de 2 techniques d'interaction mixtes
  - Inclut des considérations de performance / satisfaction
  - Utilisation de notre Laboratoire des usages
  - Utilisateurs CSP+
- **Technique de référence** : souris(habitude des utilisateurs)

# PROCÉDURE D'ÉVALUATION

- 14 personnes (8 hommes, 6 femmes)
- Phase 1 : apprentissage
  - Enregistrement du temps (pour information)
- Phase 2 : test
  - 8 étapes utilisant une combinaison de 10 commandes
  - Tâche répétées pour les 3 techniques d'interaction (contre-balancement)
  - Durée de chaque étape mesuré
- Phase 3 : interview post-test

# RÉSULTATS

**GE-Steering  
Board**



**GE-Stick**



## **Satisfaction**

### **Steering Board**

préféré (12,1/20)

[souris : 10,7, GE-Stick : 7,1]

## **Performance**

- Durée globale en faveur de la souris (5'19") [GE-Stick: 6'48, GE-Steering Board: 7'23"]
- stabilité inter-utilisateurs équivalente pour les 3 techniques

# RÉSULTATS

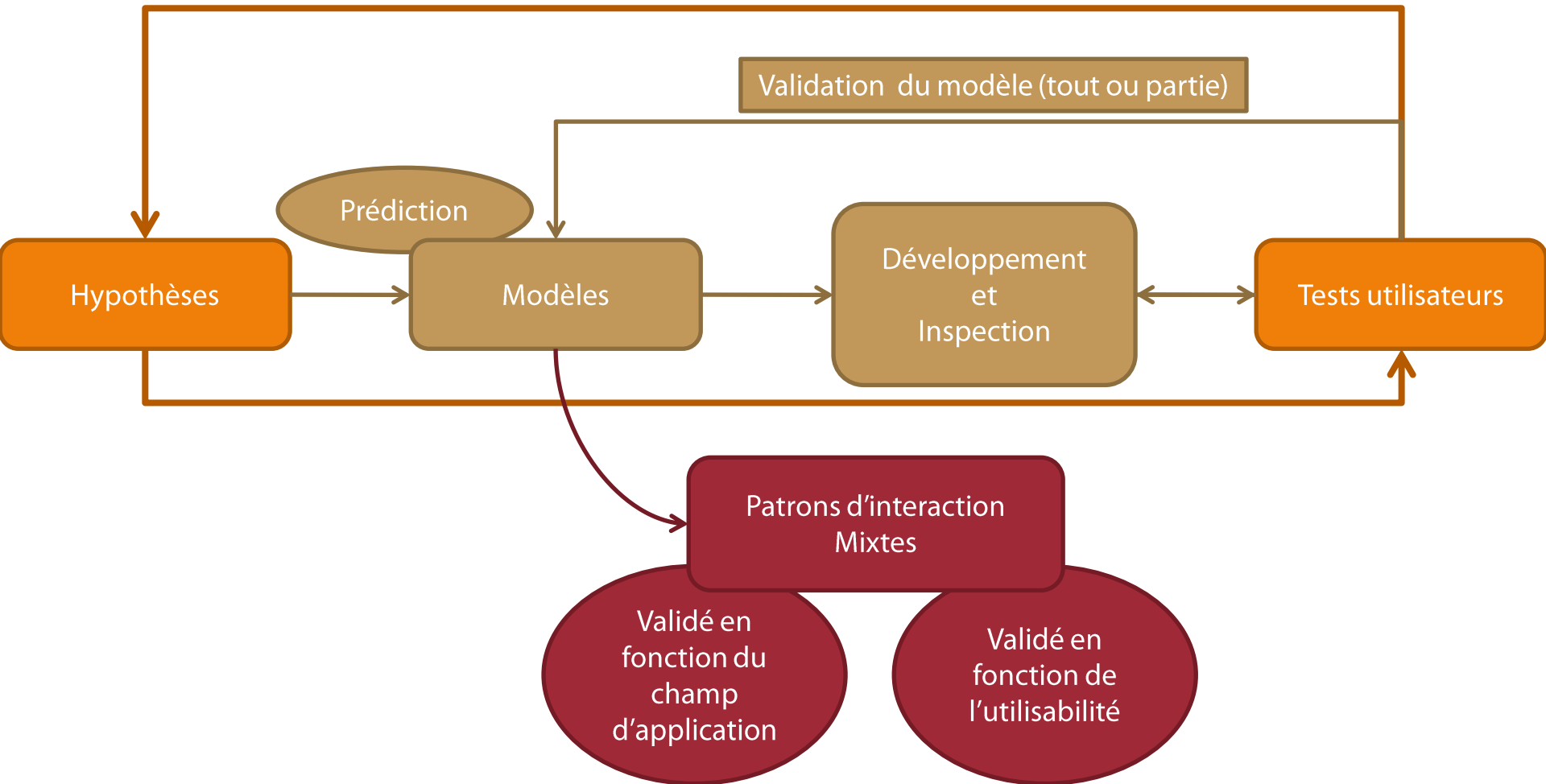
- Tâche « Aller à »
  - Meilleure performance avec la souris
  - Mais les usagers améliorent leur expérience avec les techniques mixtes
- Tâche « Incliner »
  - Pas de différences significatives entre techniques d'interaction dispersion importante des performances des utilisateurs avec la souris
  - Stabilité des techniques mixtes
- Tâche « Tourner autour »
  - GE-stick significativement meilleur

# RÉSULTATS

- Performance et satisfaction ne sont pas corrélées dans ce contexte
  - Évaluation composite requise
- Techniques d'interaction mixtes présentent de réels avantages
  - Stabilité Inter-utilisateurs
- Il reste des manques ...
  - Éviter des biais techniques
  - Editer des règles de recommandation ergonomiques claires !
  - Etablir des liens avec des modèles prédictifs (de performance)



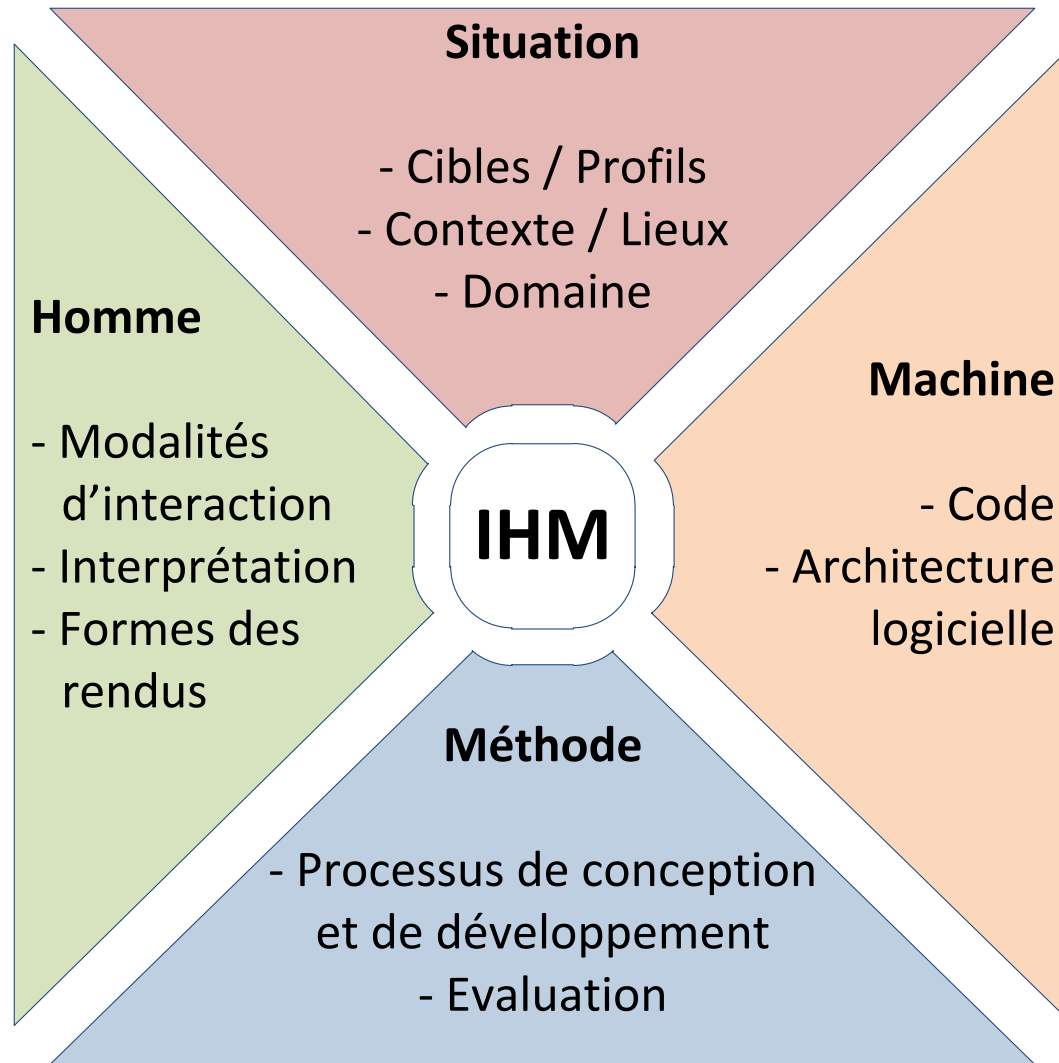
# UN CYCLE DE CONCEPTION DE SIM



# CONCLUSION

- Domaine riche en pleine explosion !
- Il reste néanmoins de très nombreuses questions en suspens ... pour éviter de concevoir des systèmes ad-hoc !
  - Quels modèles de l'utilisateur pour l'usage ce type de systèmes ?
  - Quelles règles de conception ?
  - Quels modèles pour la conception ?
  - Quelles métriques d'évaluation de ces systèmes ?

# CONCLUSION



# RÉFÉRENCES



Making Things Talk: Practical Methods for Connecting Physical Objects, Tom Igoe, O'Reilly Media/Make, September 2007

- Cours Master 2 « Systèmes Interactifs Mixtes » (M2 IHM - Emmanuel Dubois)
- Thèse « Réalité Mixte et Travail Collaboratif : IRVO, un modèle de l'Interaction Homme – Machine » de René Chalon (2004)