

# “Haptic Processor Unit” : vers une PlateForme Transportable pour la Simulation Temps-Réel Synchrone Multisensorielle

Damien Couroussé

pour obtenir le grade de Docteur de l'INP-G

*Mercredi 5 Novembre 2008 - 14h30*



ICA Laboratory  
(Computer Arts Lab.)



## Plan

---

1. Le contexte et les objectifs
2. Les Architectures pour la Réalité Virtuelle
3. Le HPU: Haptic Processor Unit
4. ERGON\_X
5. Validation de la plateforme et expérimentation
6. Conclusion et Perspectives

## 1. Objectifs

---

- Réalisation d'un nouvel outil pour la simulation multisensorielle
  - Réactivité
  - Diffusion et Valorisation  $\Rightarrow$  Compacité et Transportabilité
- Le contexte de recherche du ReX Enactive Interfaces
  - Un réseau pluridisciplinaire : robotique, informatique, création artistique, psychophysique, infographie, philosophie...
  - L'approche Enactive pour l'interaction Homme-Machine

# 1. La théorie de l'Enaction

---

J. Bruner (1966) introduit la notion de représentation *Enactive* :

- Représentations iconiques
- Représentations symboliques
- Représentations enactives

La théorie de l'Enaction (Varela, 1991) :

- **Couplage structurel :**

« *La cognition dans son sens le plus vaste consiste en l'enaction ou le faire-émerger d'un monde par le biais d'une histoire viable de couplage structurel.* » Varela, l'inscription corporelle de l'esprit, 1993 [VTR93]

- **Action et perception :**

« *Nous voici à présent en mesure de proposer une formulation préliminaire de ce que nous entendons par enaction. En bref, cette approche se compose de deux points :*

- (1) *la perception consiste en une action guidée par la perception ;*
  - (2) *les structures cognitives émergent des schèmes sensori-moteurs récurrents qui permettent à l'action d'être guidée par la perception.* »
- Varela, l'inscription corporelle de l'esprit, 1993 [VTR93]

## 1. Objectifs

---

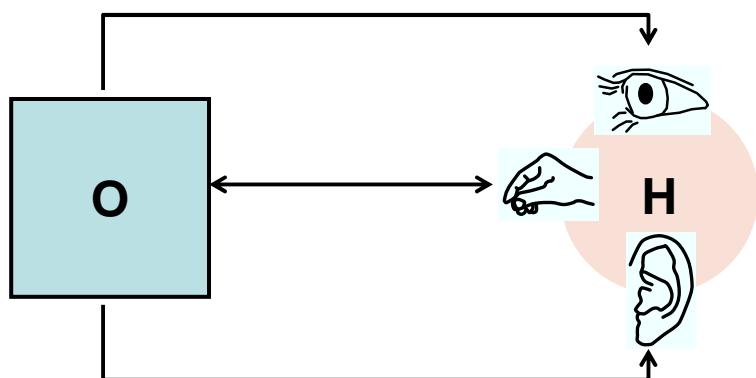
- Réalisation d'un nouvel outil pour la simulation multisensorielle
  - Réactivité
  - Diffusion et valorisation => Compacité et Transportabilité
- Le contexte de recherche du ReX Enactive Interfaces
  - Un réseau pluridisciplinaire : robotique, infographie, Réalité Virtuelle, psychophysique, création artistique, philosophie...
  - L'approche Enactive pour l'interaction Homme-Machine

**Créer un changement de paradigme pour  
l'interaction homme-machine :**

**Vers les *Interfaces Enactives***

## 1. Interaction Homme-Objet

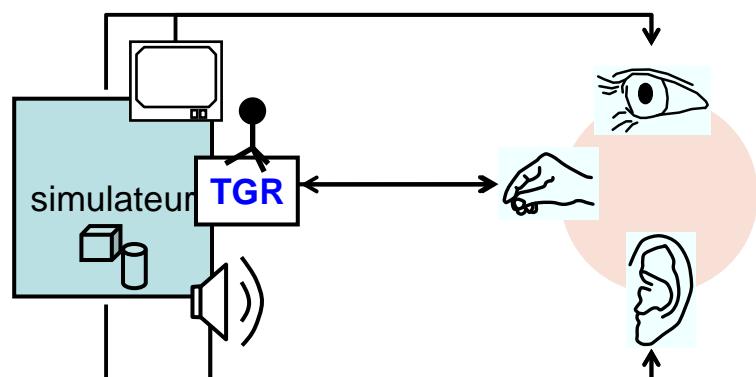
Situation naturelle



- émission d'information  $[H \Rightarrow O]$  : fonction **sémiotique**
  - réception d'information  $[H \Leftarrow O]$  : fonction **épistémique**
  - échange d'énergie  $[H \sim O]$  : fonction **ergotique**
- Geste instrumental**

## 1. Interaction Homme-Objet

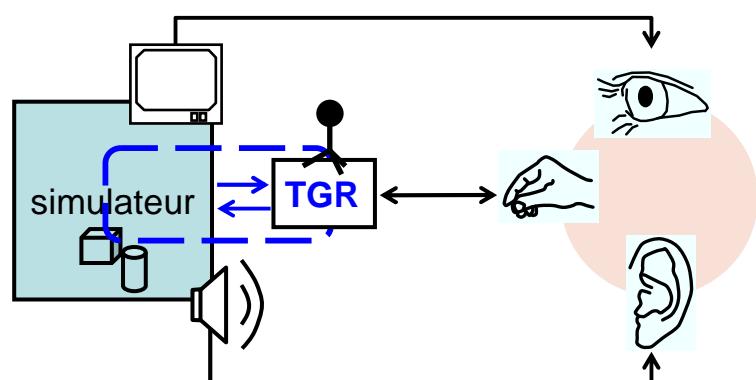
Situation instrumentale « informatisée »



**TGR : Transducteur Gestuel Rétroactif**

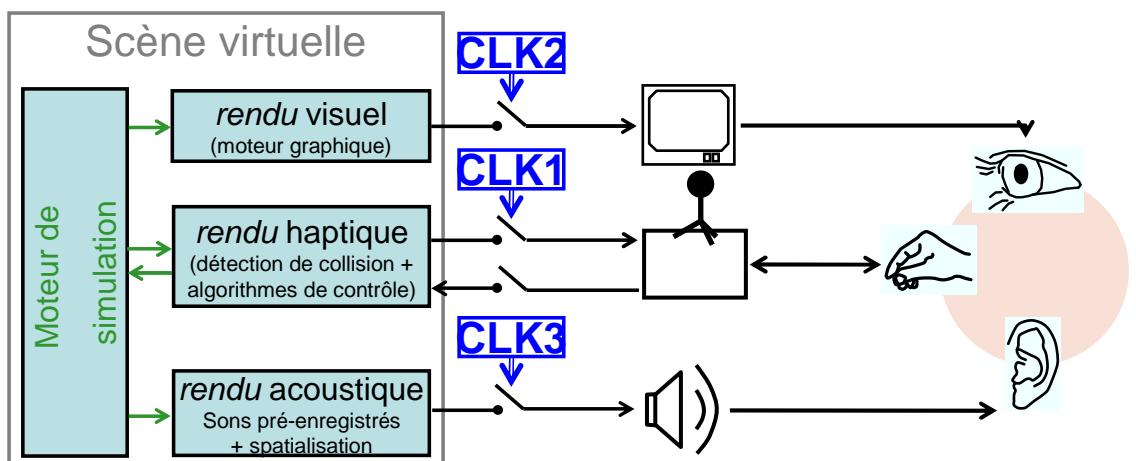
## 1. Interaction Homme-Objet

Situation médiatisée



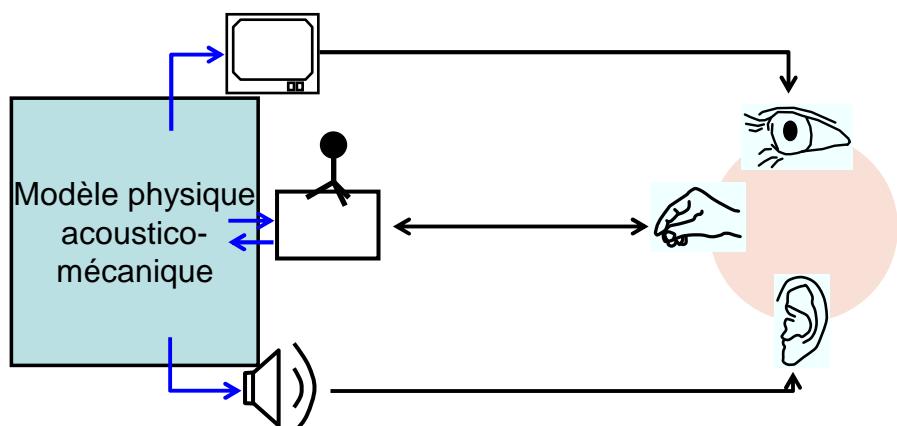
**TGR : Transducteur Gestuel Rétroactif**

## 2. Architectures pour la Réalité Virtuelle : approche asynchrone



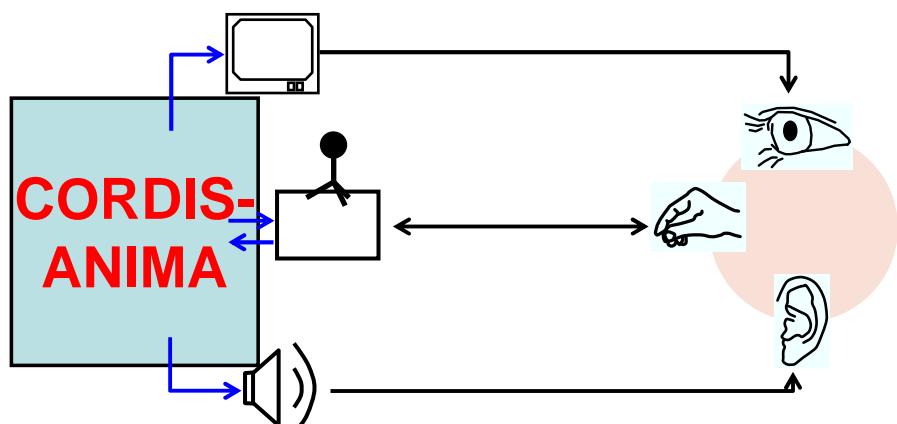
- Ressources de calcul adaptées pour chaque modalité  
(*chaque modalité a sa fréquence propre*)
- Approche multi-modale (superposition de plusieurs modalités) : l'intégration sensorielle est la responsabilité du concepteur du modèle
- Implantation impossible de certaines propriétés instrumentales fondamentales

## 2. Architectures pour la Réalité Virtuelle : approche synchrone



- le formalisme de modélisation doit supporter la multisensorialité
- la communication avec les transducteurs doit être synchrone
- la multisensorialité est garantie par le simulateur et le formalisme de modélisation

## 2. Architectures pour la Réalité Virtuelle : approche synchrone



- le formalisme de modélisation doit supporter la multisensorialité
- la communication avec les transducteurs doit être synchrone
- la multisensorialité est garantie par le simulateur et le formalisme de modélisation

## 2. CORDIS-ANIMA

---

- Formalisme pour la modélisation et la simulation numérique d'objets physiques manipulables, audibles et visibles, en temps réel et en temps différé.
- Système Discrétisé
  - Discrétisation topologique

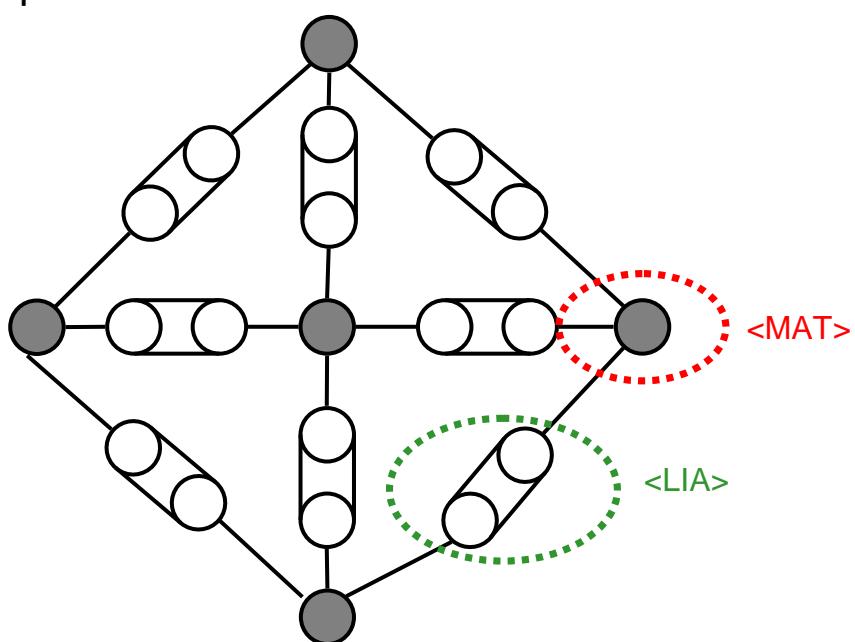
*Un modèle CORDIS est un réseau de d'éléments atomiques*
  - Discrétisation temporelle

Un modèle CORDIS est calculé en temps discret
- CORDIS pour le Temps Réel :
  - Adapté à une implantation numérique
  - Schémas algorithmiques explicites => Temps Réel Dur

**CORDIS-ANIMA est le seul langage synchrone qui permette d'adresser la multisensorialité**

## 2. CORDIS-ANIMA

- Les points de communication:



## 2. CORDIS-ANIMA

---

- Les points de communication:



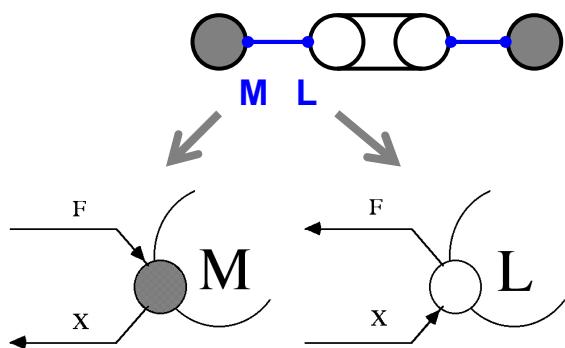
## 2. CORDIS-ANIMA

- Les points de communication:



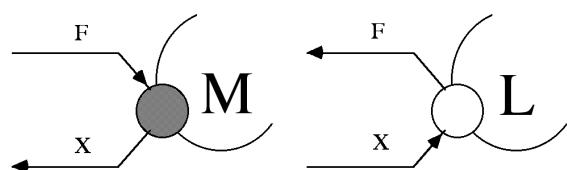
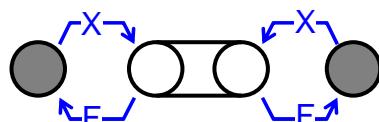
## 2. CORDIS-ANIMA

- Les points de communication:

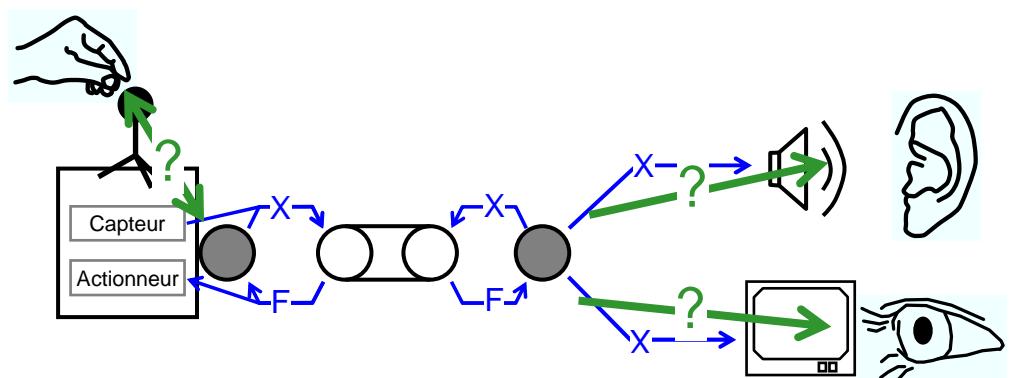


## 2. CORDIS-ANIMA

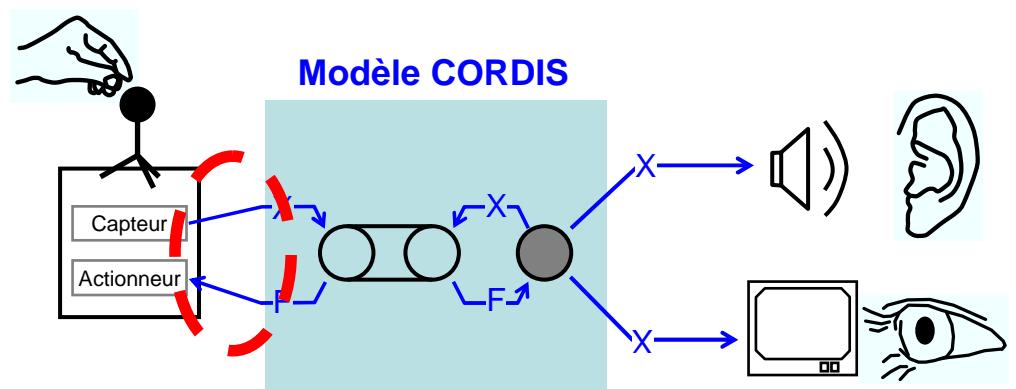
- Les points de communication:



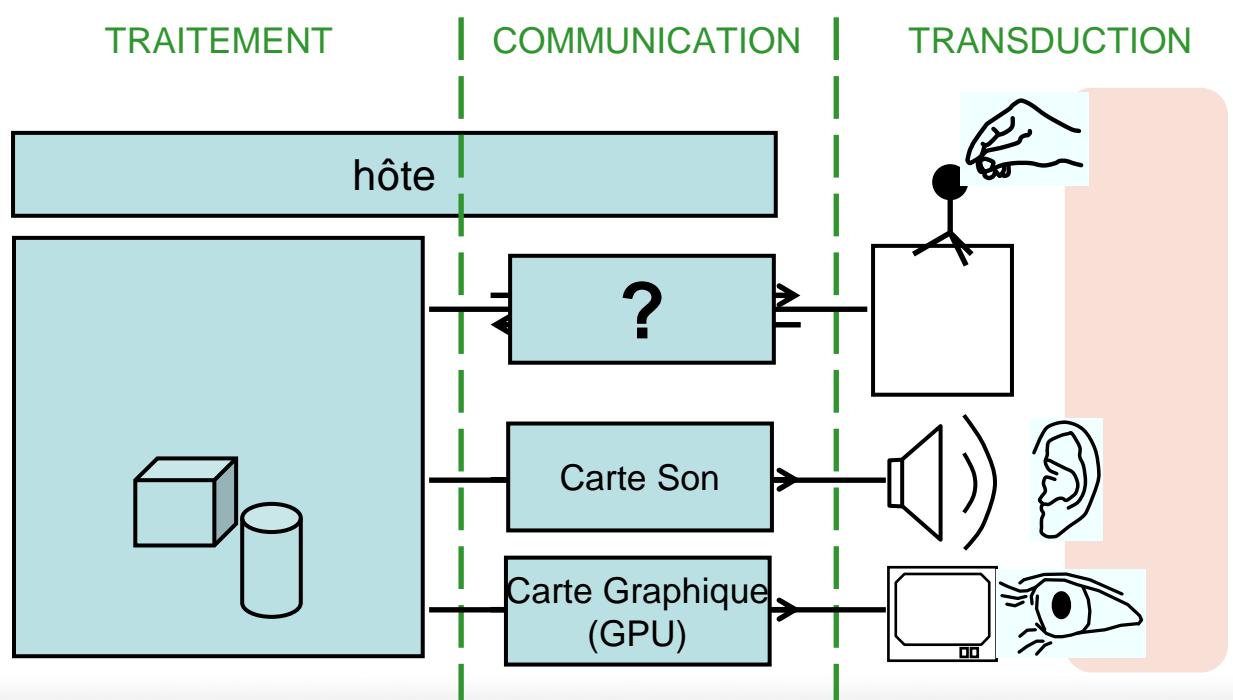
## 2. Adresser la multi-sensorialité : CORDIS-ANIMA



## 2. Adresser la multi-sensorialité : CORDIS-ANIMA

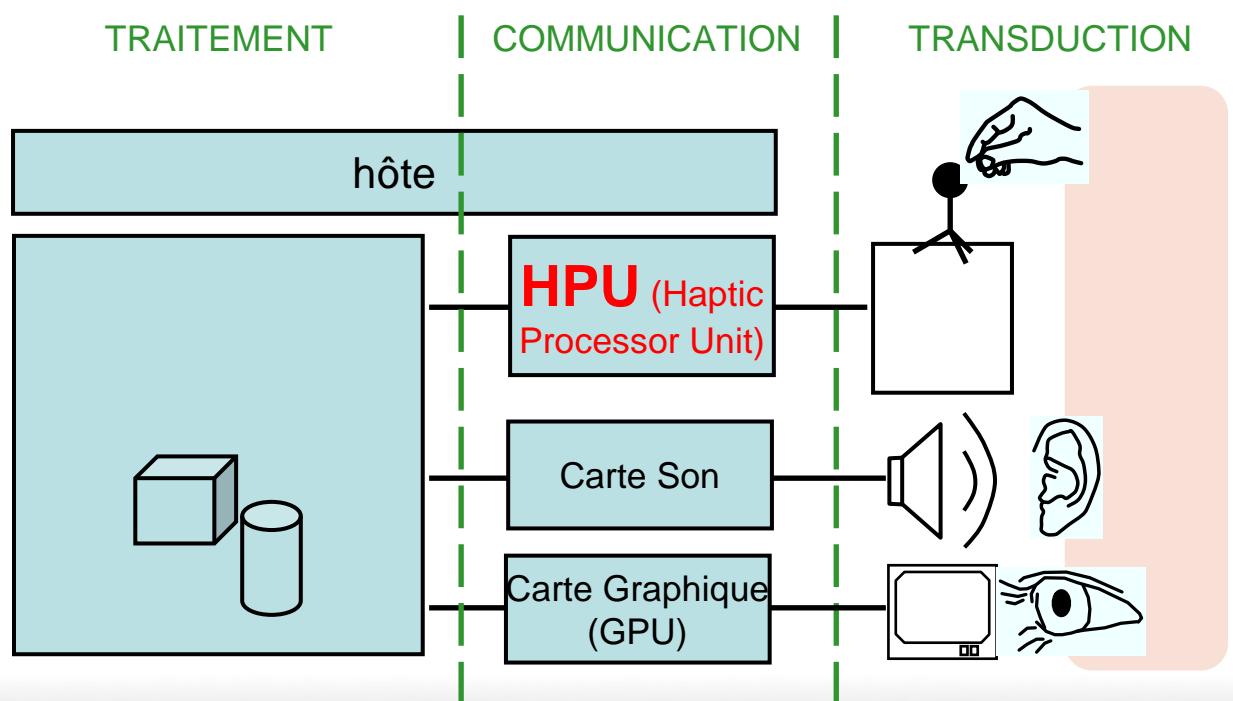


### 3. Le HPU



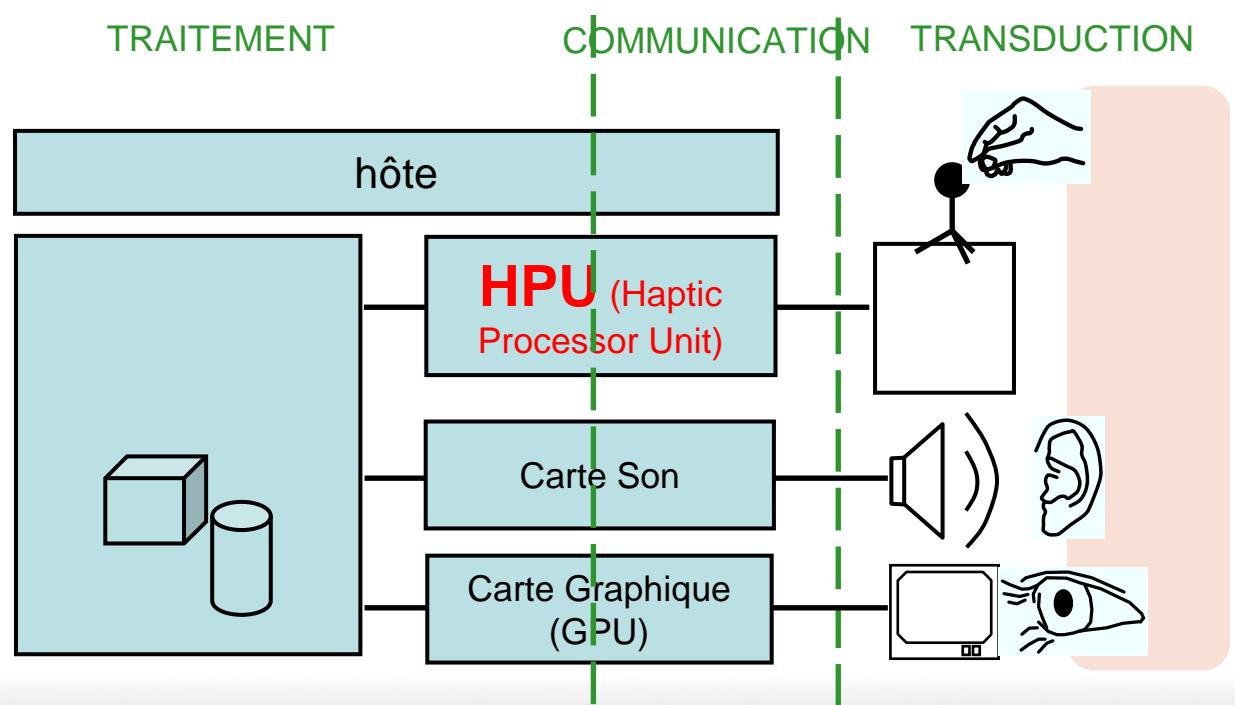
### 3. Le HPU

#### 1. Communication

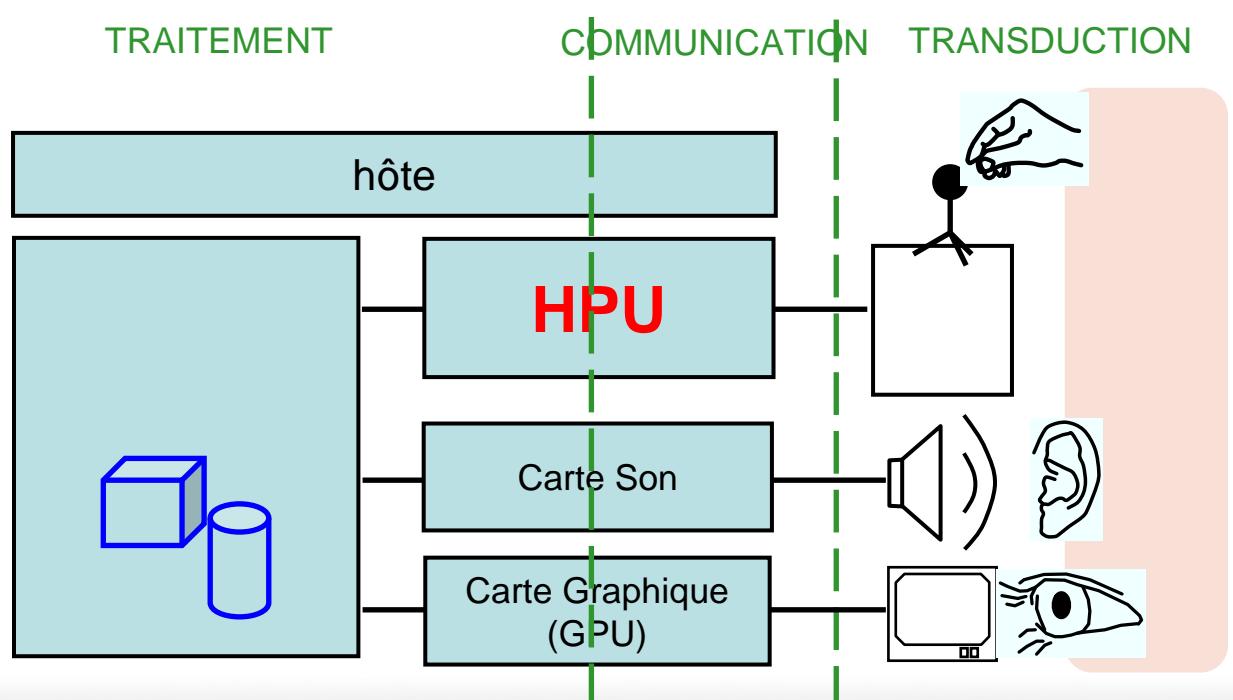


### 3. Le HPU

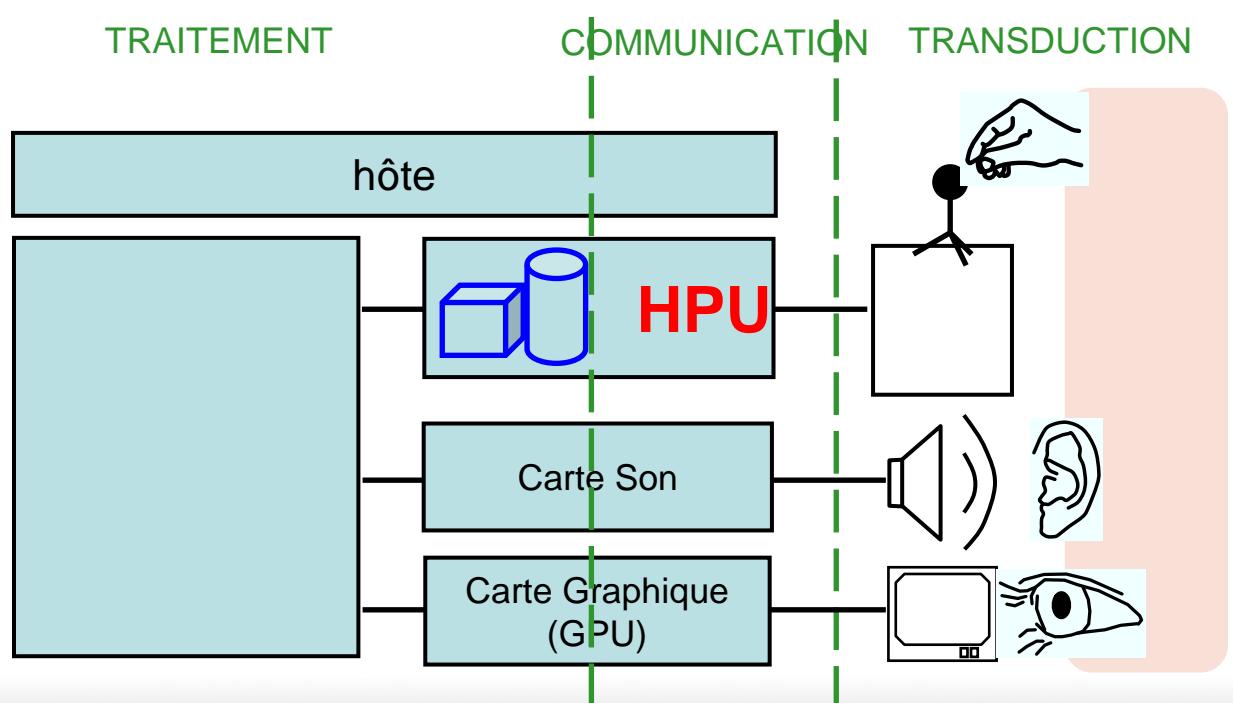
#### 2. Traitement



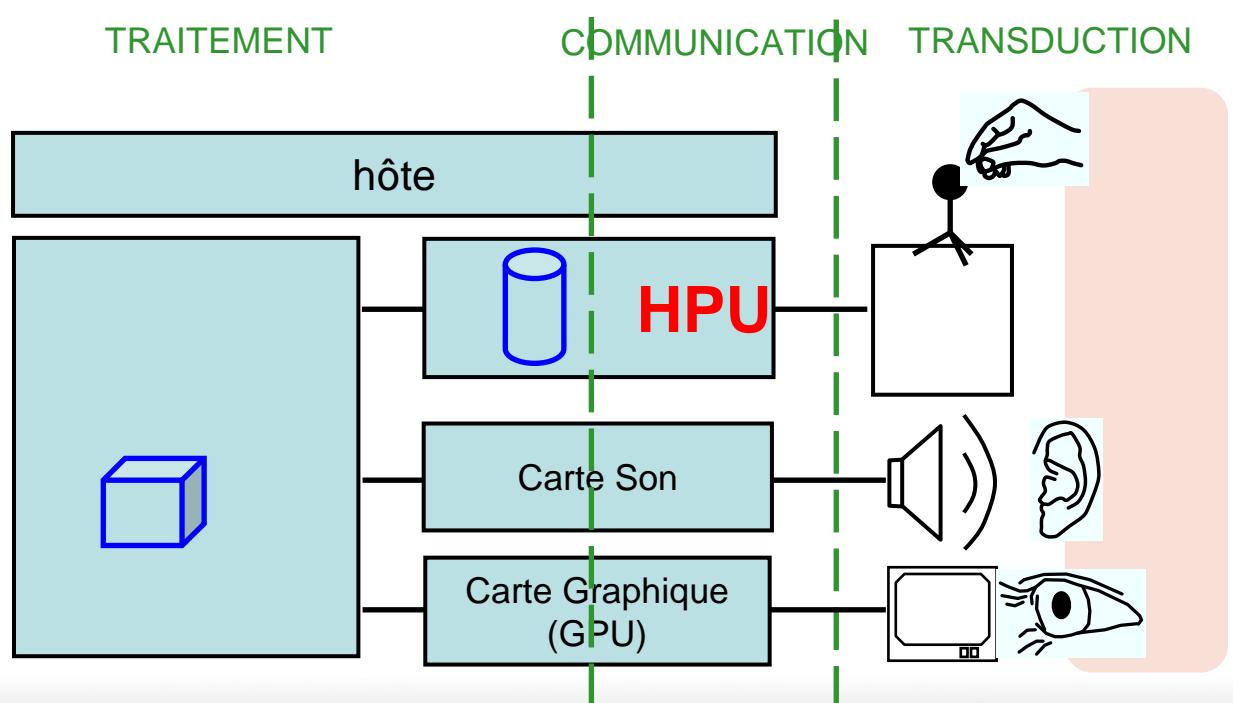
### 3. Le HPU



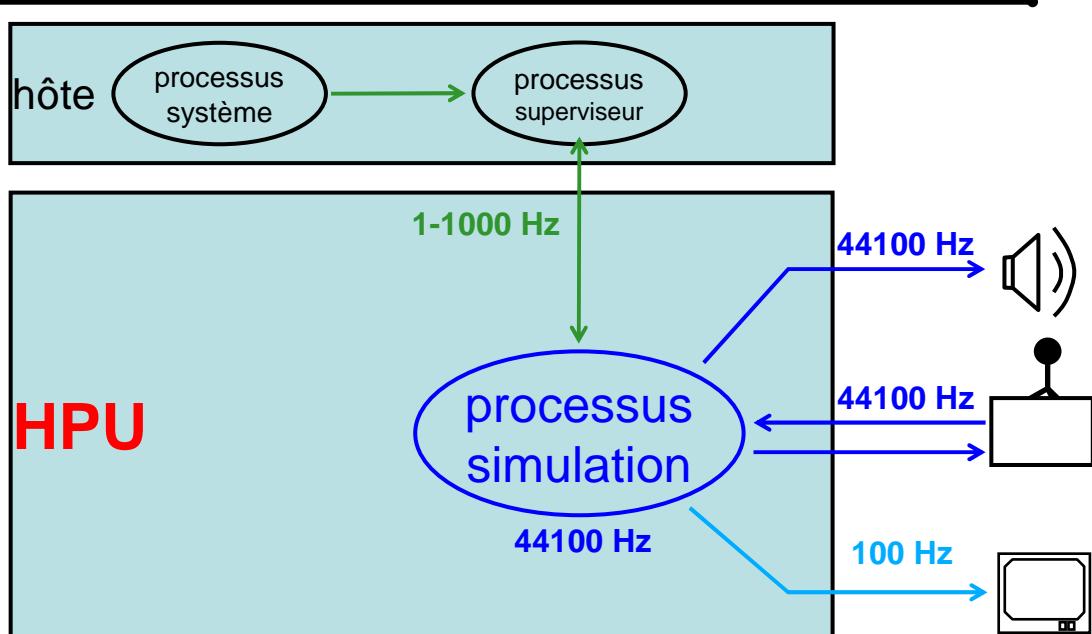
### 3. Le HPU



### 3. Le HPU



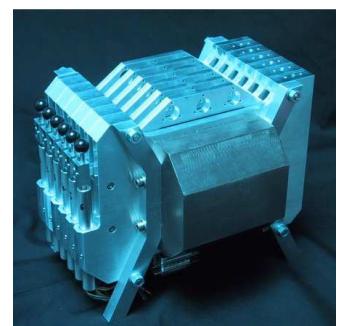
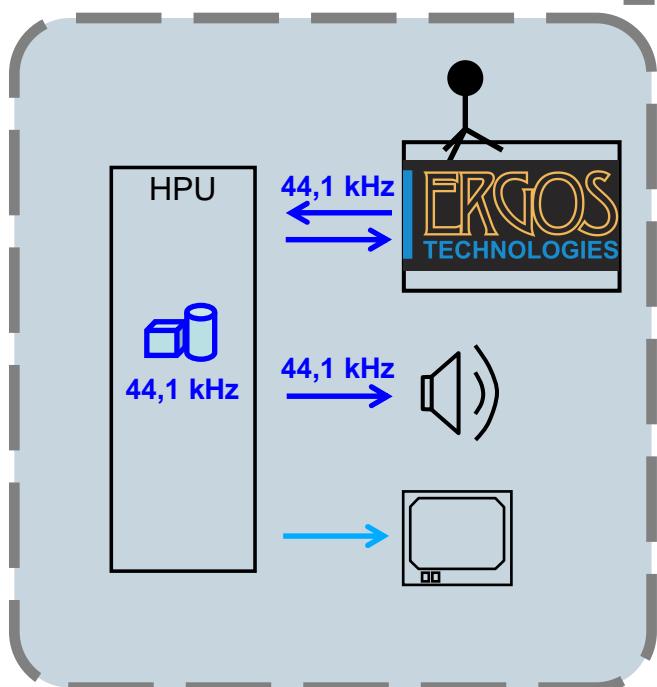
## 4. ERGON\_X



Carte CNA/CNA + DSP

## 4. ERGON\_X

ERGON\_X

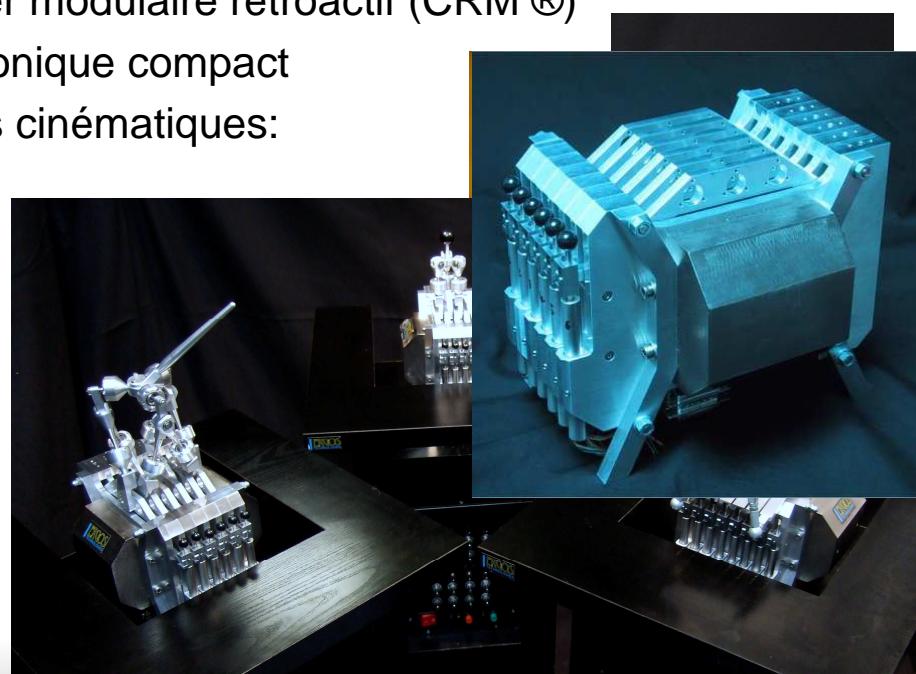


excellentes performances dynamiques

## 4. ERGON\_X

### ERGOS Technologies

- Base: clavier modulaire rétroactif (CRM ®)
- Rack électronique compact
- Adaptateurs cinématiques:
  - Clavier
  - Stick 2D
  - Stick 3D
  - Stick 6D
  - Archet
  - Pinces
  - etc



## 5. Validation et expérimentation

8 études / 3 axes :

- Démonstrateur pour la technologie ERGOS
  - le « E »
- Un outil pour l'expérimentation sur la perception :
  - Le « *tapping* » : percussion 1D sur un objet sonore
  - perception de l'élasticité
- Emblematic Enactive Scenarios (EES) :
  - Pebble Box (*la boîte à cailloux*)
  - Ergotic Sounds (*le violon virtuel*)
  - Real to Virtual Physical Cooperation (*RVPC - couplage réel-virtuel*)
  - Shapes and Contour (*la forme et le contour mécanique et visuel*)
  - The Hands in the Nanoworld (*nanomanipulation*)



## 5. Validation et expérimentation

8 études / 3 axes :

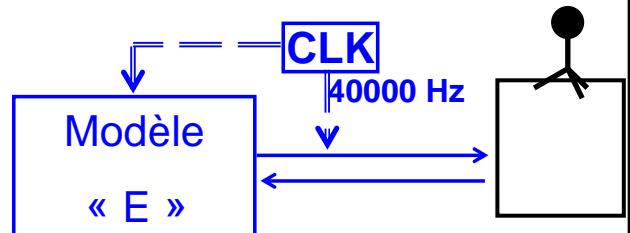
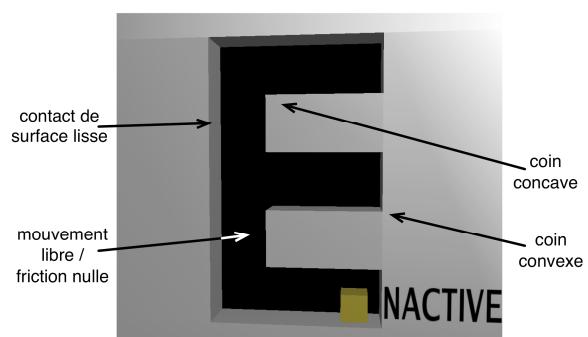
- Démonstrateur pour la technologie ERGOS
  - **le « E »**
- Un outil pour l'expérimentation sur la perception :
  - **Le « tapping »** : percussion 1D sur un objet sonore
  - **perception de l'élasticité**
- Emblematic Enactive Scenarios (EES) :
  - Pebble Box (*la boîte à cailloux*)
  - **Ergotic Sounds** (*le violon virtuel*)
  - Real to Virtual Physical Cooperation (*RVPC - couplage réel-virtuel*)
  - Shapes and Contour (*la forme et le contour mécanique et visuel*)
  - The Hands in the Nanoworld (*nanomanipulation*)



## 5. Validation et expérimentation

### Le « E » : rigidité maximum

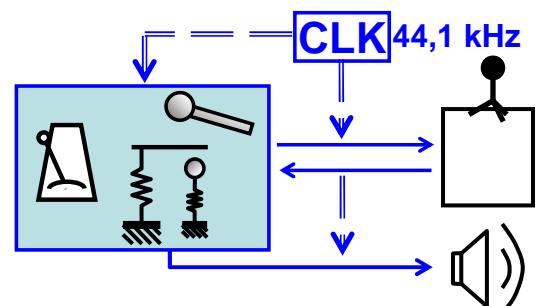
- Propriétés fondamentales du TGR
  - Mouvement libre
  - Contacts très rigides
- Démonstrateur pour ERGOS :
  - Temps réel synchrone à 40kHz
  - Contacts rigides / angles aigus / Mouvement libre
- Résultats
  - Raideur max simulée: 135 N/mm  
Haptic Master : 50N/mm  
Phantom Desktop : 3,5N/mm
  - Sensation de présence de la matière simulée : « *on voit sa couleur* »



## 5. Validation et expérimentation : le « Tapping »

### Le « Tapping »

- tâche de percussion audio (mouvement 1D)
- Effets de la matière sur la percussion : variation de la raideur de l'objet percuté



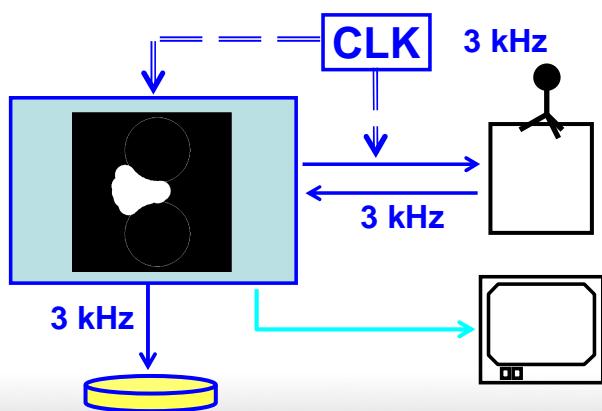
### Résultats :

- asynchronie négative moyenne comprise entre 10 et 80 ms
- Cette asynchronie dépend de la raideur de l'objet percuté



## 5. Validation et expérimentation : Elasticité

- Perception de l'élasticité  
(collaboration avec G.Jansson,  
univ. Uppsala)
  - Manipulation d'une « pâte » déformable au travers d'un goulet
  - Élasticité non-linéaire
  - Geste seul / geste + vision



Raideur simulée faible

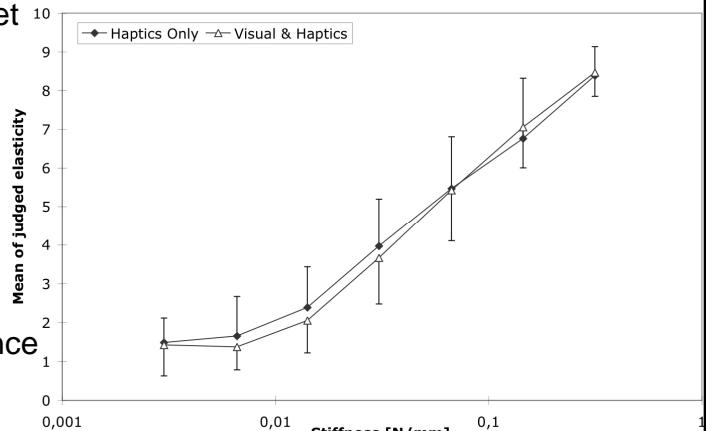


Raideur simulée forte

QuickTime™ et un décompresseur sont requis pour visionner cette image.

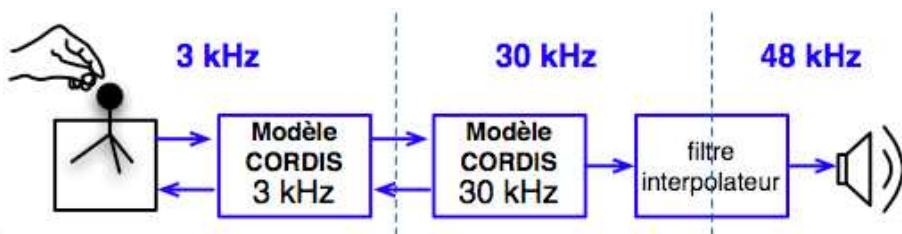
## 5. Validation et expérimentation : Elasticité

- Perception de l'élasticité  
(collaboration avec G.Jansson,  
univ. Uppsala)
  - Manipulation d'une « pâte »  
déformable au travers d'un goulet
  - Élasticité non-linéaire
  - Geste seul / geste + vision
- Résultats:
  - Les participants parviennent à ordonner les différentes valeurs d'élasticité présentées
  - Pas d'amélioration de performance avec la vision
  - L'ajout de la vision modifie la dynamique des mouvements exploratoires (vitesse et amplitude des mouvements, etc.)



## 5. Validation Expérimentation : EES Ergotic Sounds

- Le frottement d'archet : un modèle emblématique de la relation ergotique geste-son
- Modèle très exigeant : la relation non-linéaire corde-archet a une bande-passante très large (théoriquement infinie)
- Historique du modèle:
  - 1985 : geste 300Hz (sans retour d'effort) / son 20kHz
  - 1990 : geste synchrone à 1kHz / son 20kHz
  - 2001 : geste synchrone à 3kHz / son 30 kHz
  - 2007 : geste / son à 44,1kHz ([ERGON\\_X](#))



## 5. Validation Expérimentation : EES Ergotic Sounds

- Le frottement d'archet : un modèle emblématique de la relation ergotique geste-son
- Modèle très exigeant : la relation non-linéaire corde-archet a une bande-passante très large (théoriquement infinie)
- Historique du modèle:
  - 1985 : geste 300Hz (sans retour d'effort) / son 20kHz
  - 1990 : geste synchrone à 1kHz / son 20kHz
  - 2001 : geste synchrone à 3kHz / son 30 kHz
  - 2007 : geste / son à 44,1kHz



## 5. Validation Expérimentation : EES Ergotic Sounds

- Le frottement d'archet : un modèle emblématique de la relation ergotique geste-son
- Modèle très exigeant : la relation non-linéaire corde-archet a une bande-passante très large (théoriquement infinie)
- Historique du modèle:
  - 1985 : geste 300Hz (sans retour d'effort) / son 20kHz
  - 1990 : geste synchrone à 1kHz / son 20kHz
  - 2001 : geste synchrone à 3kHz / son 30 kHz
  - 2007 : geste / son à 44,1kHz

Jeu  
présence instrumental



==> Évidence instrumentale

==> forte présence

==> démonstratif d'une *technologie enactive*

**Grâce à : l'architecture synchone, la multisensorialité, au « 44kHz »**

## 6. Conclusions

---

- **Concept théorique du HPU**
  - Description fonctionnelle
  - Caractéristiques techniques détaillées
  - Supporte la simulation synchrone multisensorielle
- **Réalisation de produits industriels : ERGON\_X**
  - Un simulateur compact et transportable déclinable en plusieurs versions
  - 7 plate-formes
  - Présentation dans des salons industriels: EuroHaptics06, IST06
  - Validation grandeur nature : « Toucher le Futur », Grenoble, Novembre 2007, exposition itinérante sur 5 ans « nanoscience et société »

« Nanoscience et Société » :

- 2 1/2 années de fonctionnement (Grenoble, La Villette Paris, Bordeaux, Genève)
- 90000 visiteurs
- Équivalent de 9 mois de simulation en continu

## 6. Conclusions

---

- **Concept théorique du HPU**
  - Description fonctionnelle
  - Caractéristiques techniques détaillées
  - Supporte la simulation synchrone multisensorielle
- **Réalisation de produits industriels : ERGON\_X**
  - Un simulateur compact et transportable déclinable en plusieurs versions
  - 7 plate-formes
  - Présentation dans des salons industriels: EuroHaptics06, IST06
  - Validation grandeur nature : « Toucher le Futur », Grenoble, Novembre 2007, exposition itinérante sur 5 ans « nanoscience et société »
- **Plate-forme d'expérimentation pour la psychophysique et pour les sciences cognitives**
  - Réalité Virtuelle = vaste matériau expérimental
  - Architecture synchrone : application des principes de métrologie
  - Observation *non intrusive* de l'expérience et enregistrement pour analyse

## 6. Perspectives

- **Développement de la plate-forme ERGON\_X :**
  - Intégration de ERGON\_X avec les autres outils du laboratoire en temps réel et en temps différé
  - Développement de l'interface de modélisation de ERGON\_X
  - Le HPU comme un composant pour la simulation répartie
- **Outils d'observation pour l'expérimentation**
  - Développement des capacités d'enregistrement  
*Ces signaux sont : nombreux, multidimensionnels, de très grande bande passante, de longue durée*
  - De nouveaux outils d'analyse
- **Activité expérimentale pour les situations enactives**
  - Psychophysique « conventionnelle » vs. approche enactive  
*Poursuite du travail du ReX Enactive :*
  - L'enaction pour la technologie de l'interaction homme-machine
  - Les conditions technologiques pour l'enaction



Merci !

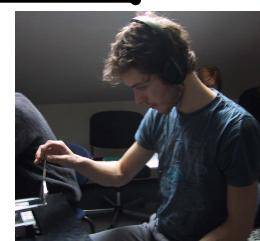
# RESERVOIR

---

## 5. Validation Expérimentation : EES Ergotic Sounds

### 1. Expérience d'identification

- Sans le son
  - Sensation de friction, de rugosité: fermeture éclair, hochet, règle rugueuse, à la friction des roues sur la route mais dans aucun cas à un frottement d'archet.
- Avec le son
  - Reconnaissance unanime de l'instrument
  - Les participants déclarent avoir des sensations gestuelles différentes avec ou sans le son, *alors que les caractéristiques gestuelles sont objectivement les mêmes*



**==> la signature du geste est inscrite dans le son**

## 4. ERGON\_X

### ERGOS Technologies

- Base: clavier modulaire rétroactif (CRM ®)
  - Bobines électromagnétiques
  - Capteurs LVDT
  - Amplification de courant linéaire

#### Mécanique

Inertie de la partie mobile                    300g par tranche

Friction en mouvement libre                 $5 \cdot 10^{-3}$  N

Déplacement                                  20mm

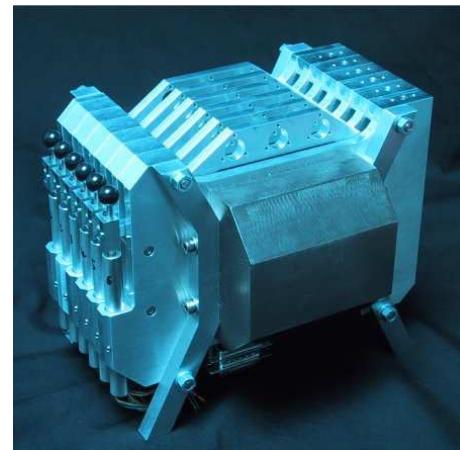
#### Actionneurs

Force max par tranche (pic)              200 N

Force max par tranche (cont.)            60 N

#### Capteurs

Résolution des capteurs                    1 µm



**==> Excellentes performances dynamiques**

## 5. Validation Expérimentation: EES Pebble Box

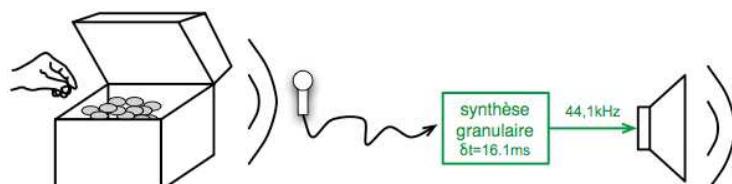
- Le paradigme de la « boîte de cailloux »
- 3 implantations complémentaires:
  - PB1: Sile O'Modhrain et Georg Essl (QUB)
  - PB2: Charlotte Magnusson (ULUND)
  - PB3: ACROE & ICA



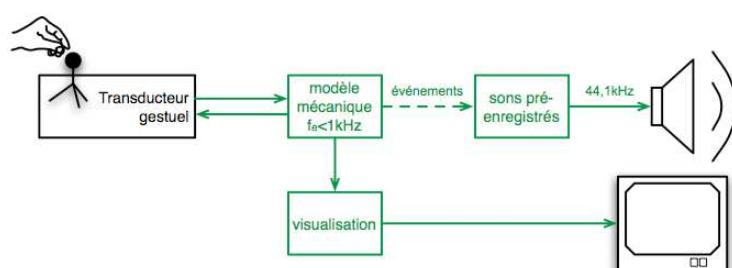
	Interaction à mains nues	Interaction outillée + TGR
Sons pré-enregistrés	PB1	PB2
Sons de synthèse		PB3

## 5. Validation Expérimentation: EES Pebble Box

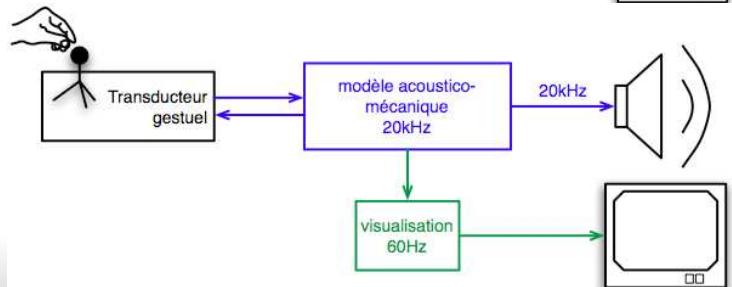
**PB1**



**PB2**



**PB3**



## 5. Validation Expérimentation: EES Pebble Box

« Impression de marcher dans l'eau »



PB1

« Eating an apple »

« marcher sur des insectes »

Dimension narrative forte

Procédures Exploratoires Emergentes  
(EEP)



PB2

Apprentissage Dynamique de la  
Manipulation (DMA)

Dimension descriptive forte

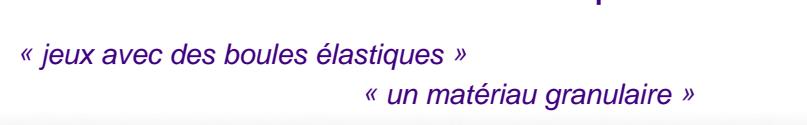


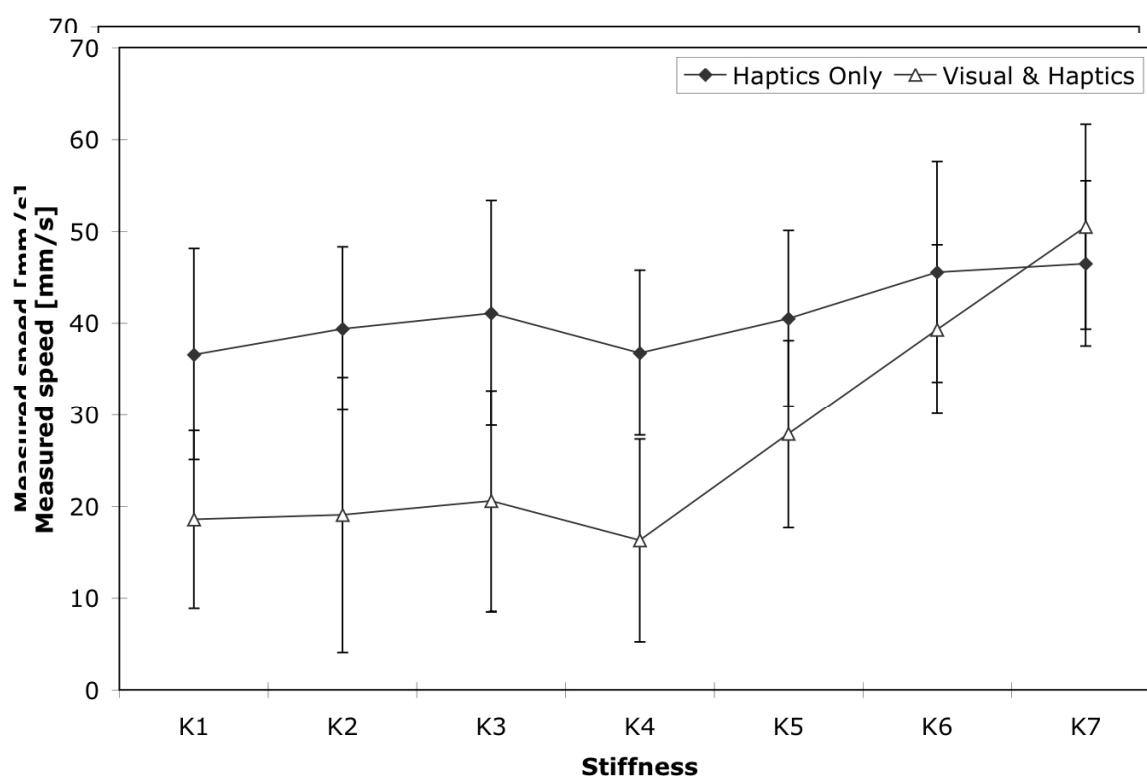
PB3

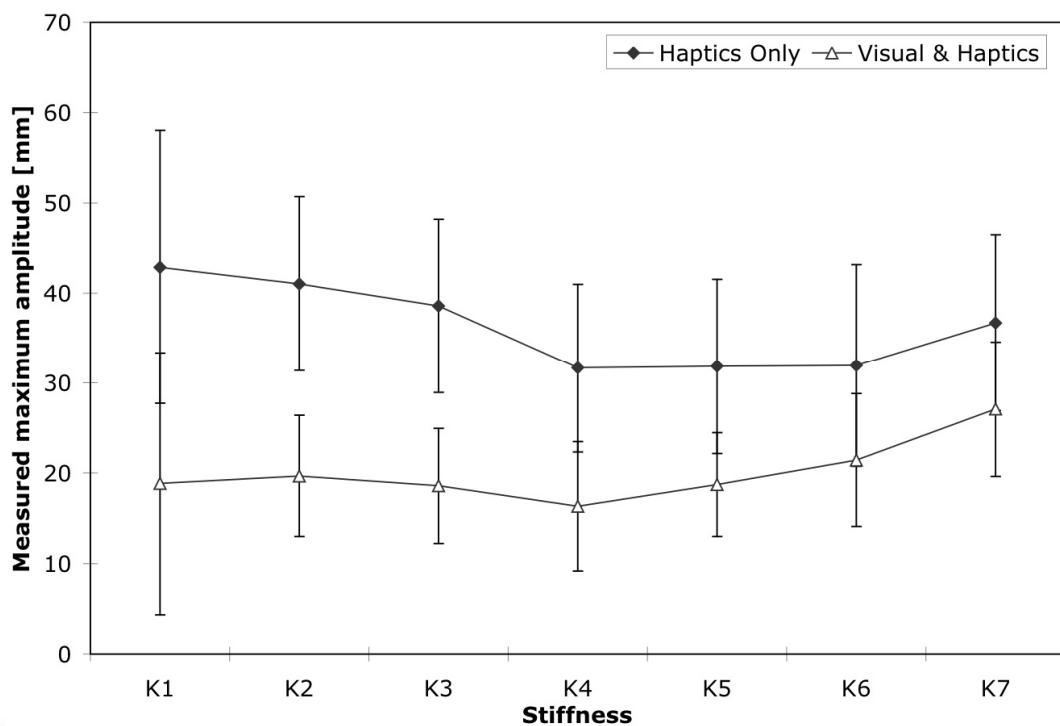
« jeux avec des boules élastiques »

« un matériau granulaire »

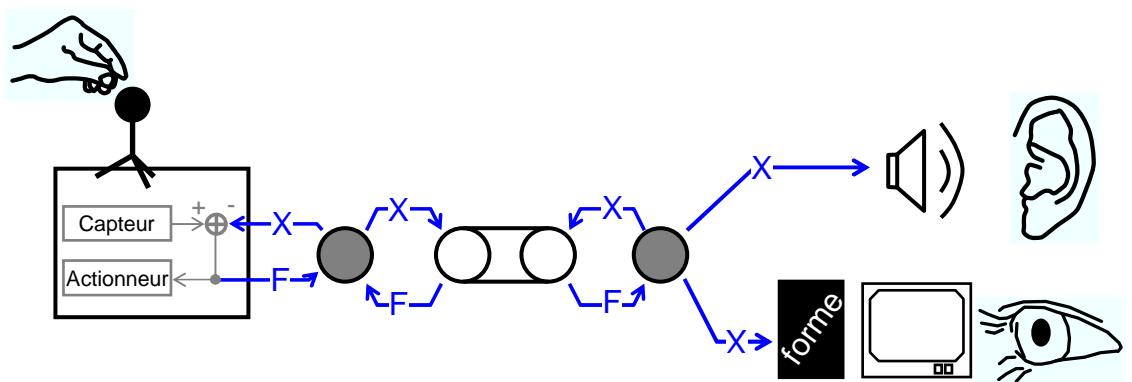
« a box of metallic marbles »





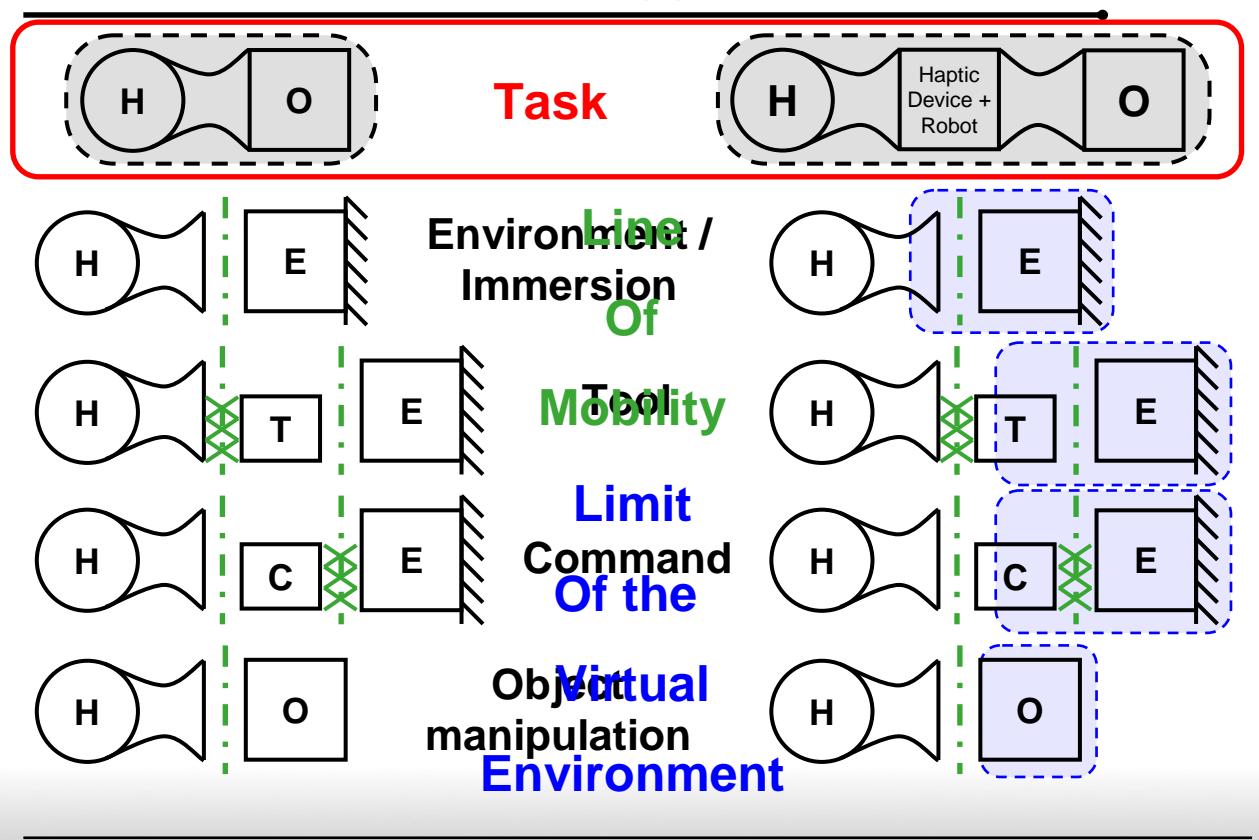


## CORDIS et TGR en mode Admittance

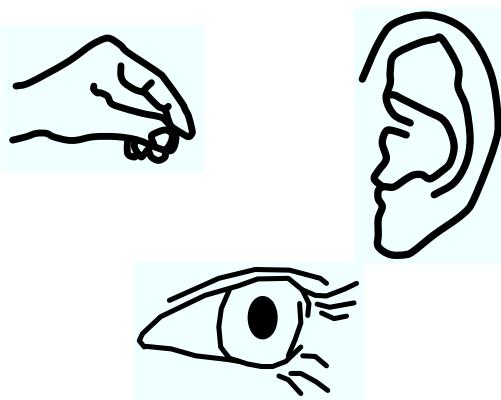




## Task-based functional approach



## Œil, main, oreille



# POUBELLE

---