

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

Damien Couroussé

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

Mercredi 5 Novembre 2008 - 14h30



ENACTIVE
Enactive Interfaces



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'énaction 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

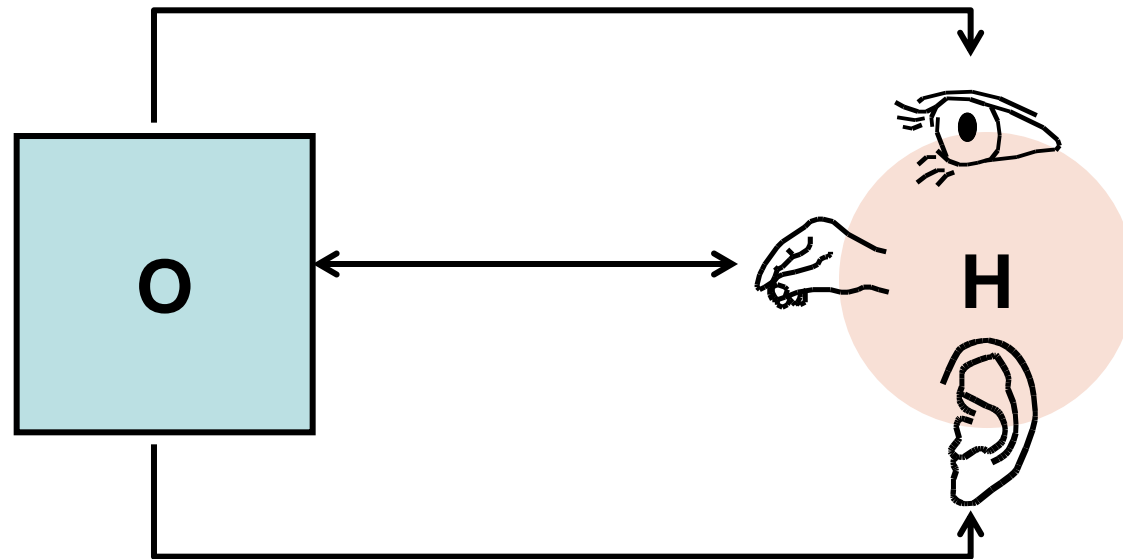
- Réalisation d'un nouvel outil pour la simulation multisensorielle
 - Réactivité
 - Diffusion et valorisation => Compacité et Transportabilité
- Le contexte de recherche du ReX Enactive Interfaces
 - Un réseau pluridisciplinaire : robotique, infographie, Réalité Virtuelle, psychophysique, création artistique,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

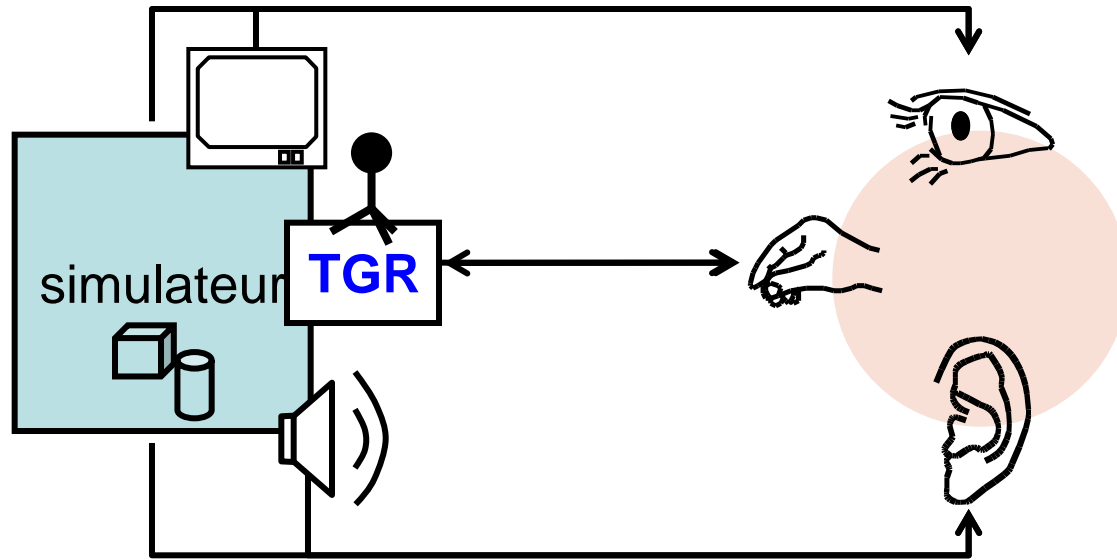


- émission d'information $[H \Rightarrow O]$: fonction **sémiotique**
- réception d'information $[H \Leftarrow O]$: fonction **épistémique**
- échange d'énergie $[H \sim O]$: fonction **ergotique**

Geste instrumental

1. Interaction Homme-Objet

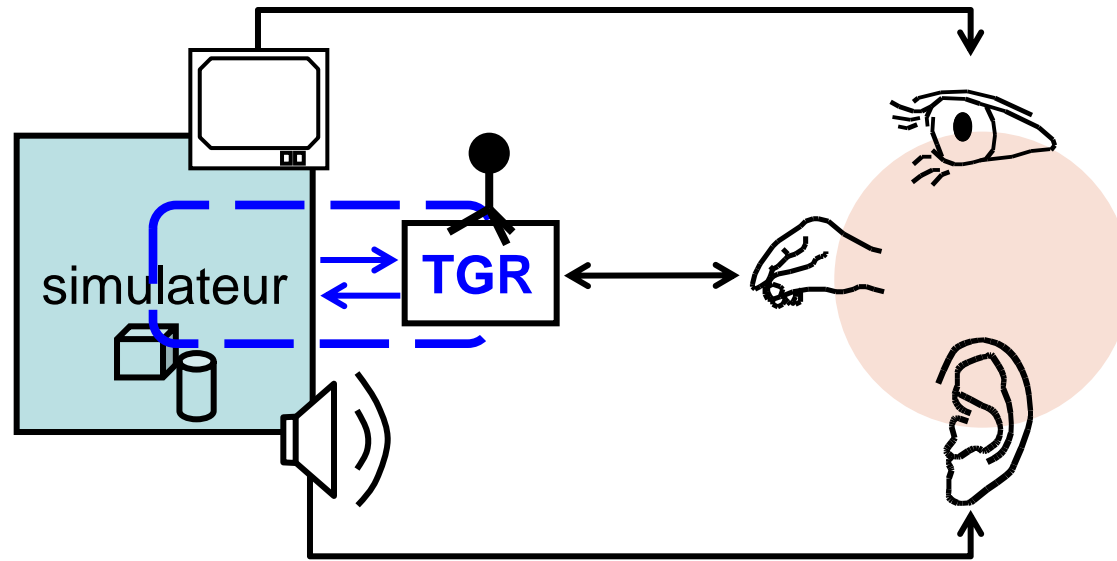
Situation instrumentale « informatisée »



TGR : Transducteur Gestuel Rétroactif

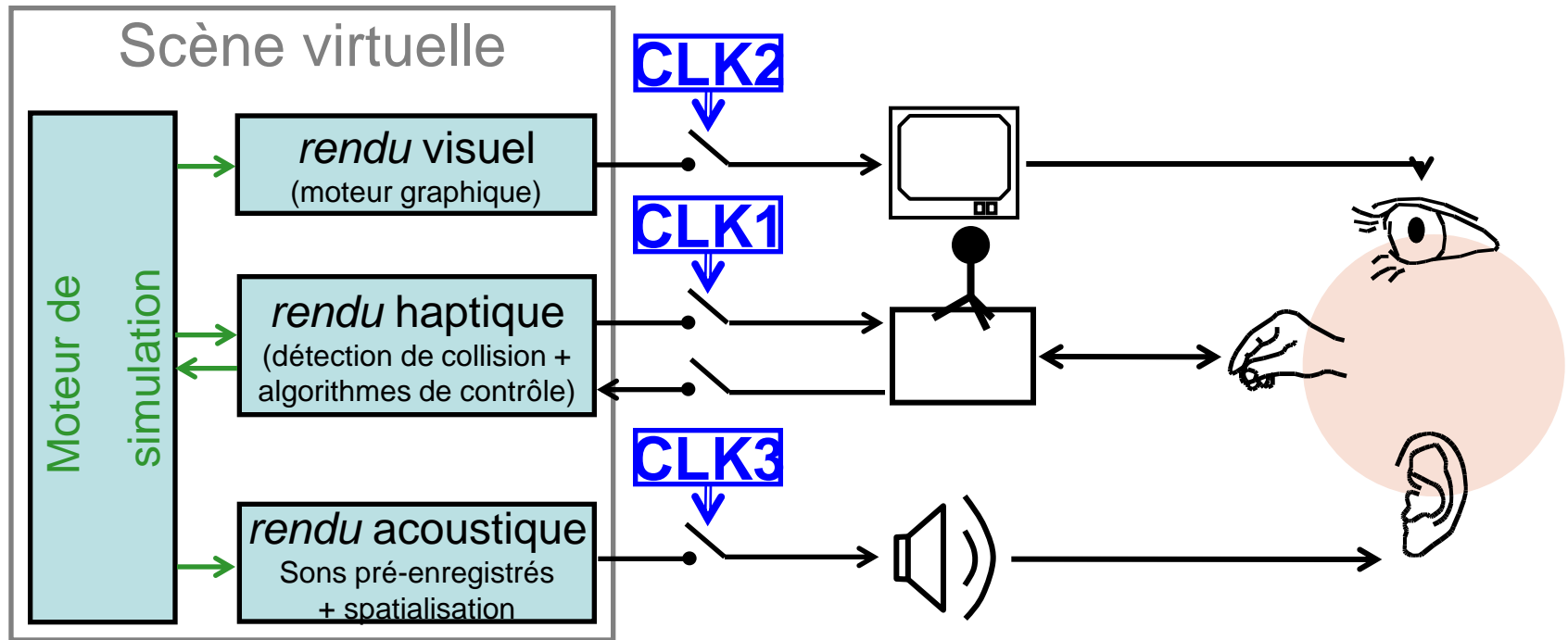
1. Interaction Homme-Objet

Situation médiatisée



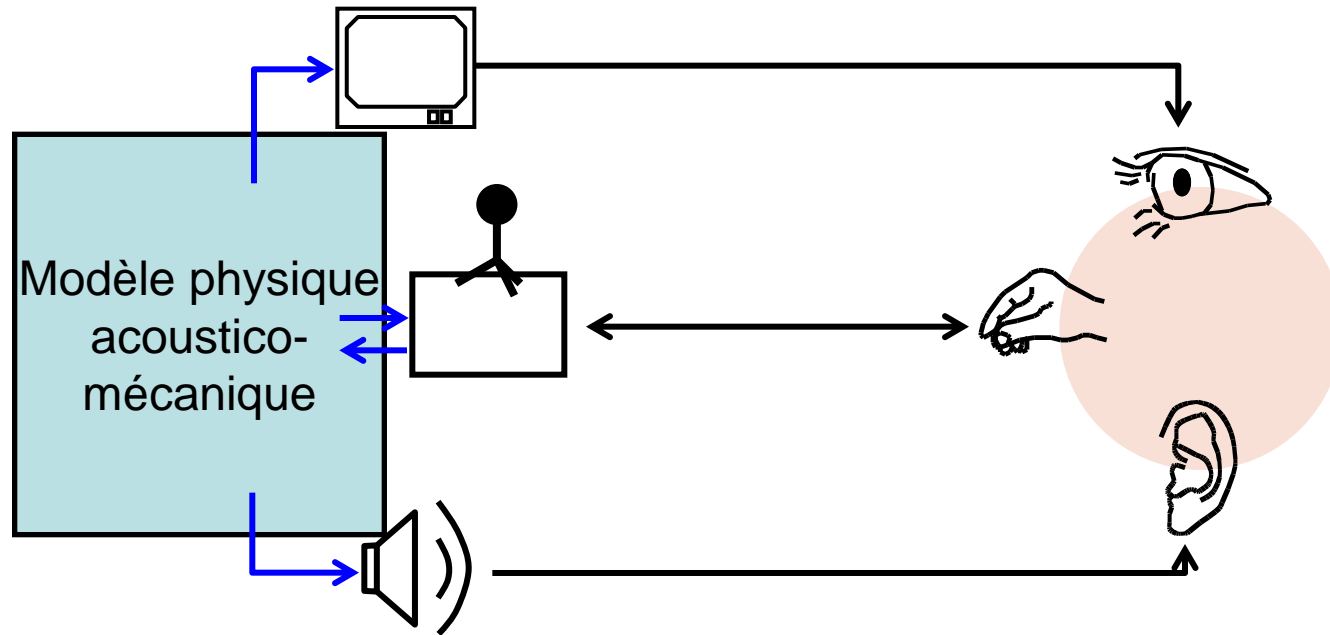
TGR : Transducteur Gestuel Rétroactif

2. Architectures pour la Réalité Virtuelle : approche asynchrone



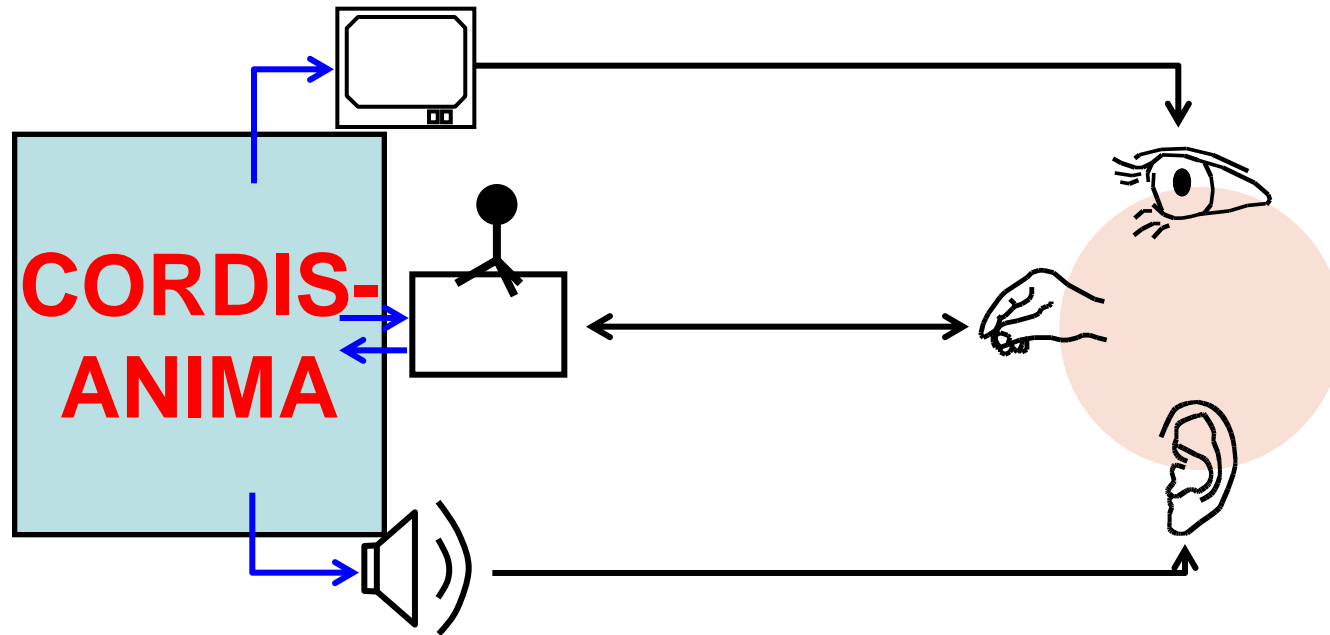
- Ressources de calcul adaptées pour chaque modalité
(chaque modalité a sa fréquence propre)
- Approche multi-modale (superposition de plusieurs modalités) : l'intégration sensorielle est la responsabilité du concepteur du modèle
- Implantation impossible de certaines propriétés instrumentales fondamentales

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

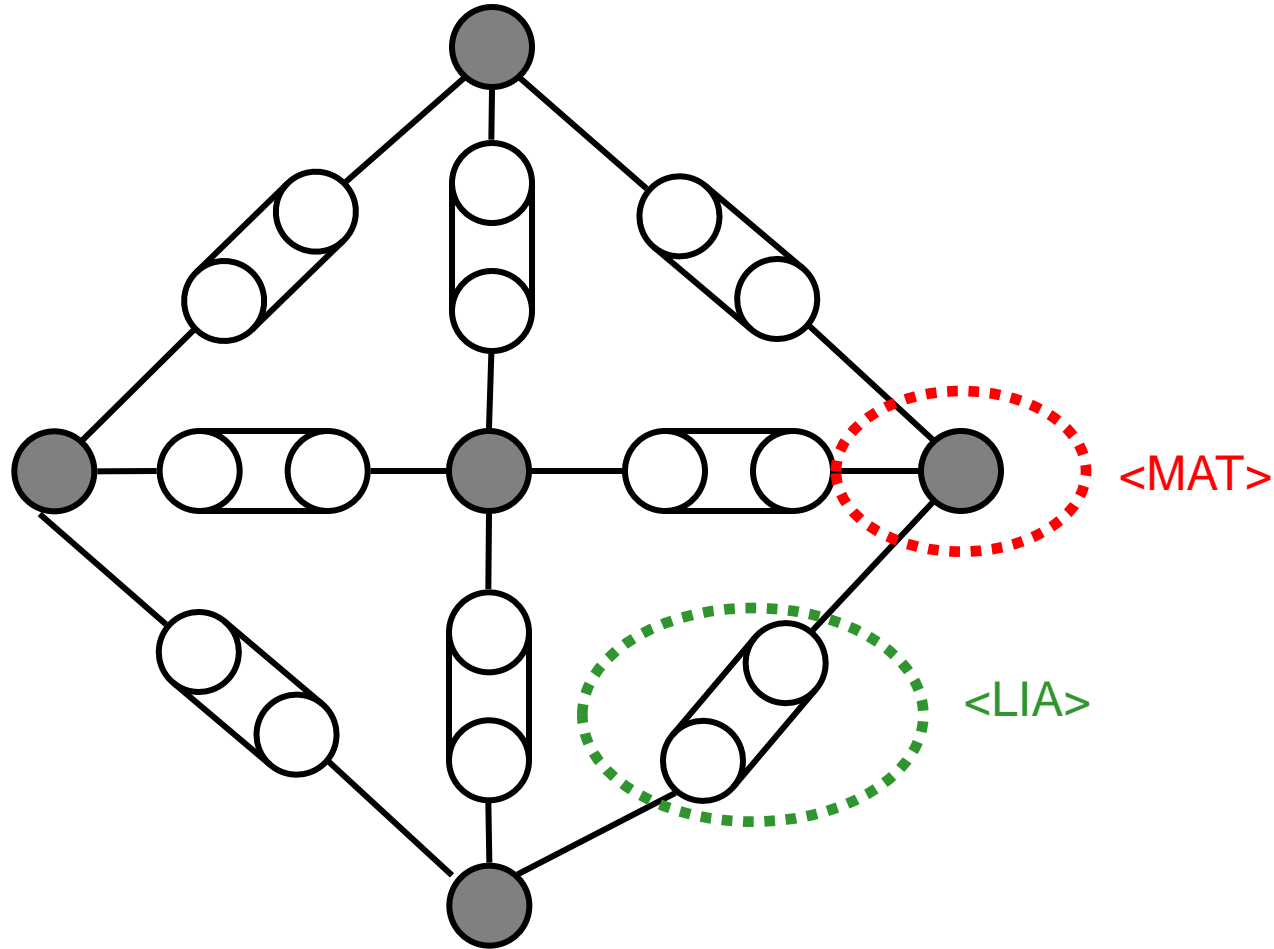
- CORDIS pour le **Temps Réel** :

- Adapté à une implantation numérique
 - Schémas algorithmiques explicites => **Temps Réel Dur**

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

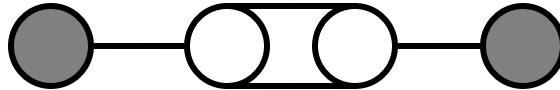
2. CORDIS-ANIMA

- Les points de communication:



2. CORDIS-ANIMA

- Les points de communication:



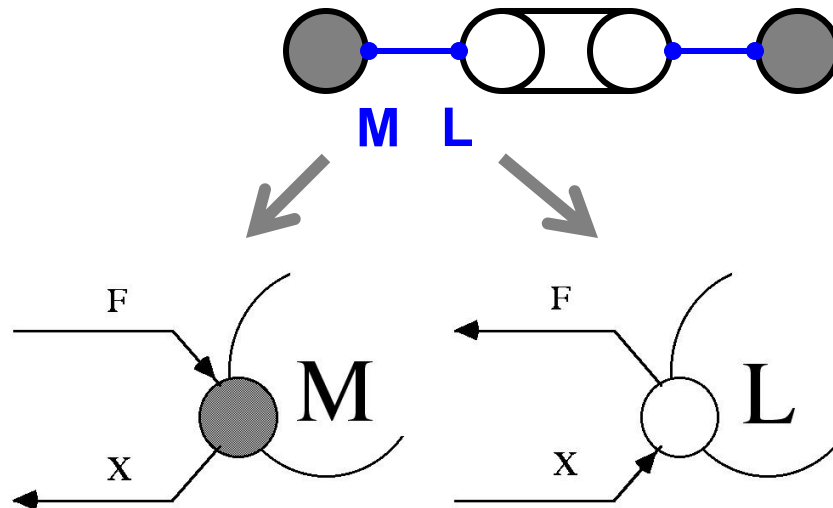
2. CORDIS-ANIMA

- Les points de communication:



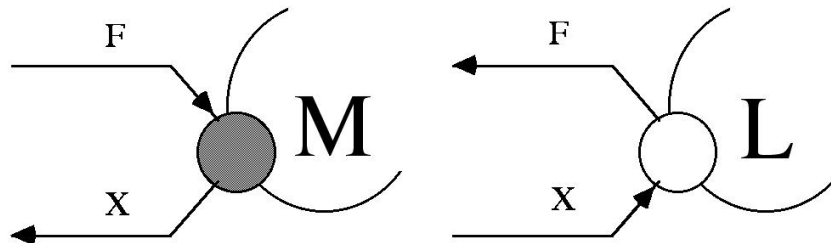
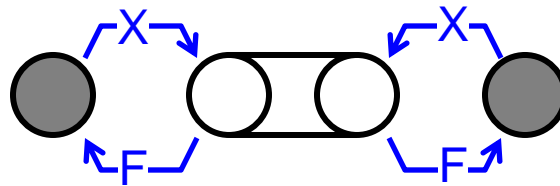
2. CORDIS-ANIMA

- Les points de communication:

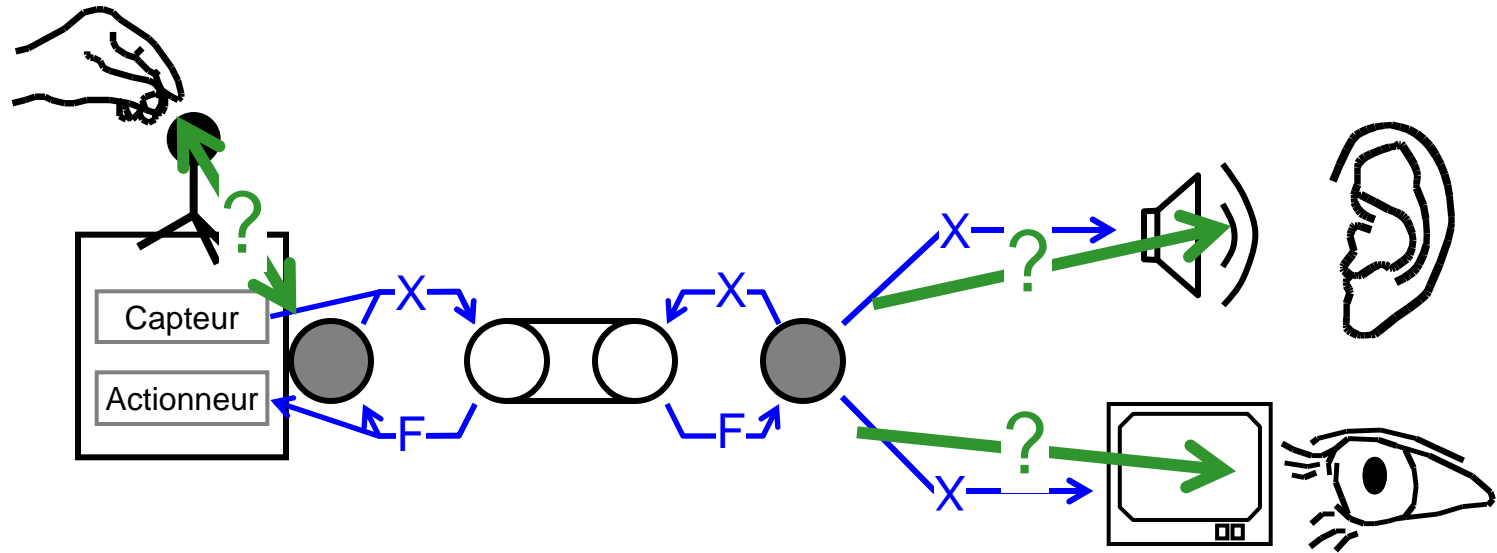


2. CORDIS-ANIMA

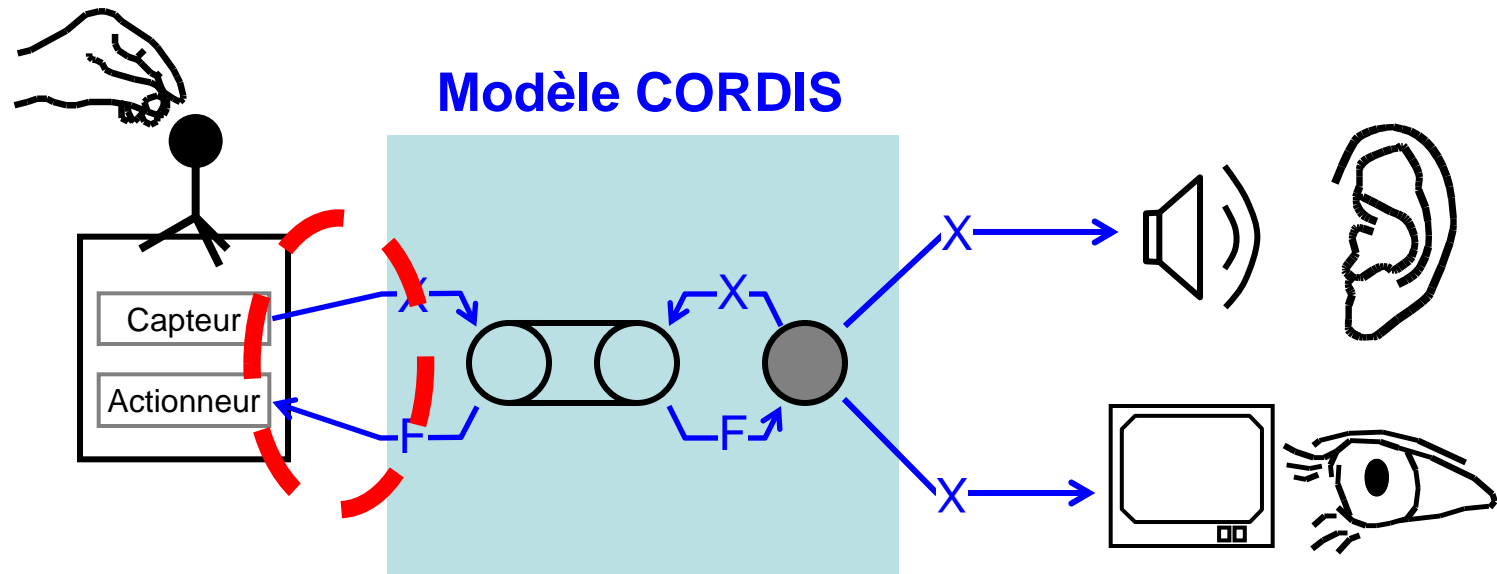
- Les points de communication:



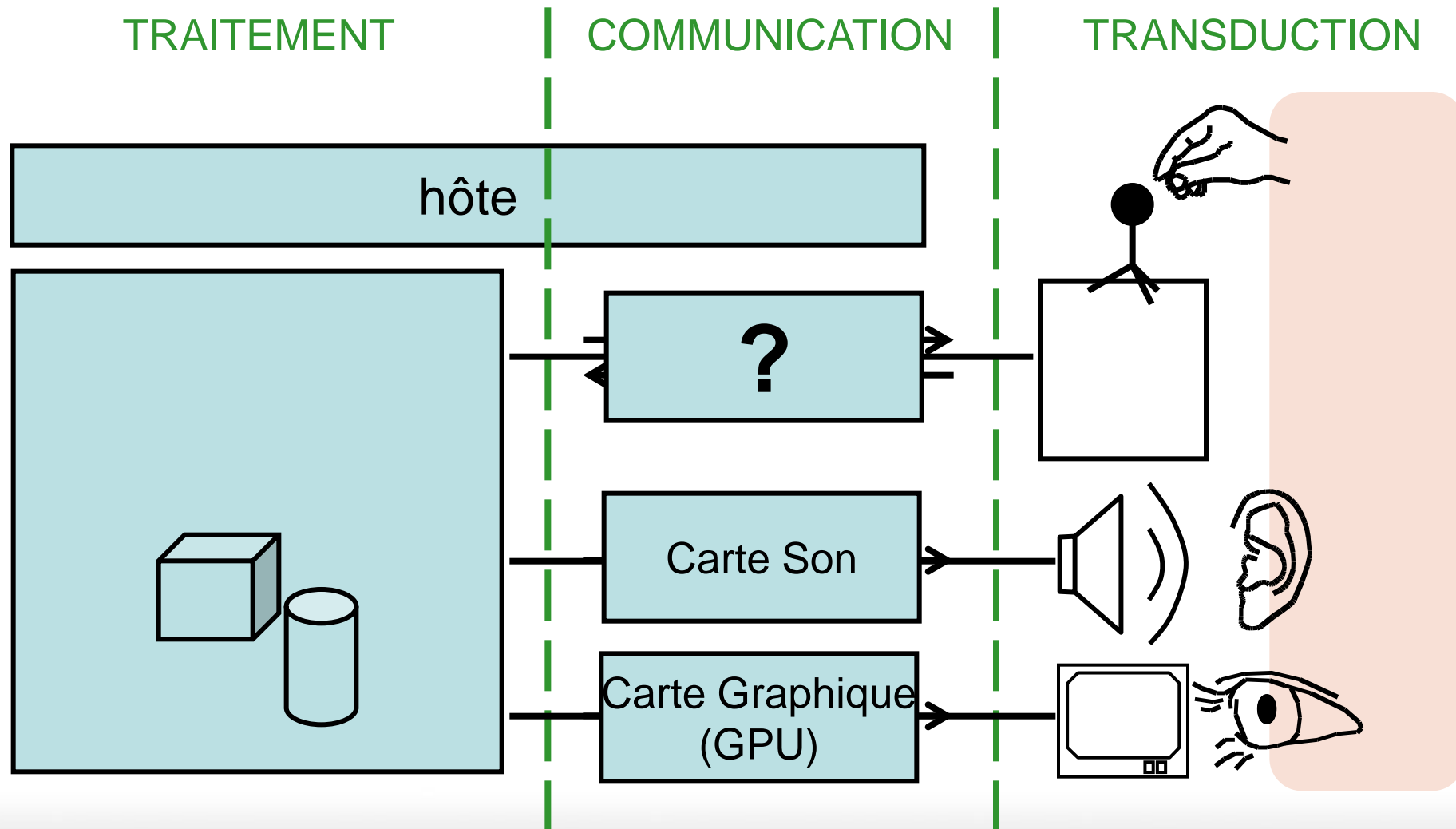
2. Adresser la multi-sensorialité : CORDIS-ANIMA



2. Adresser la multi-sensorialité : CORDIS-ANIMA

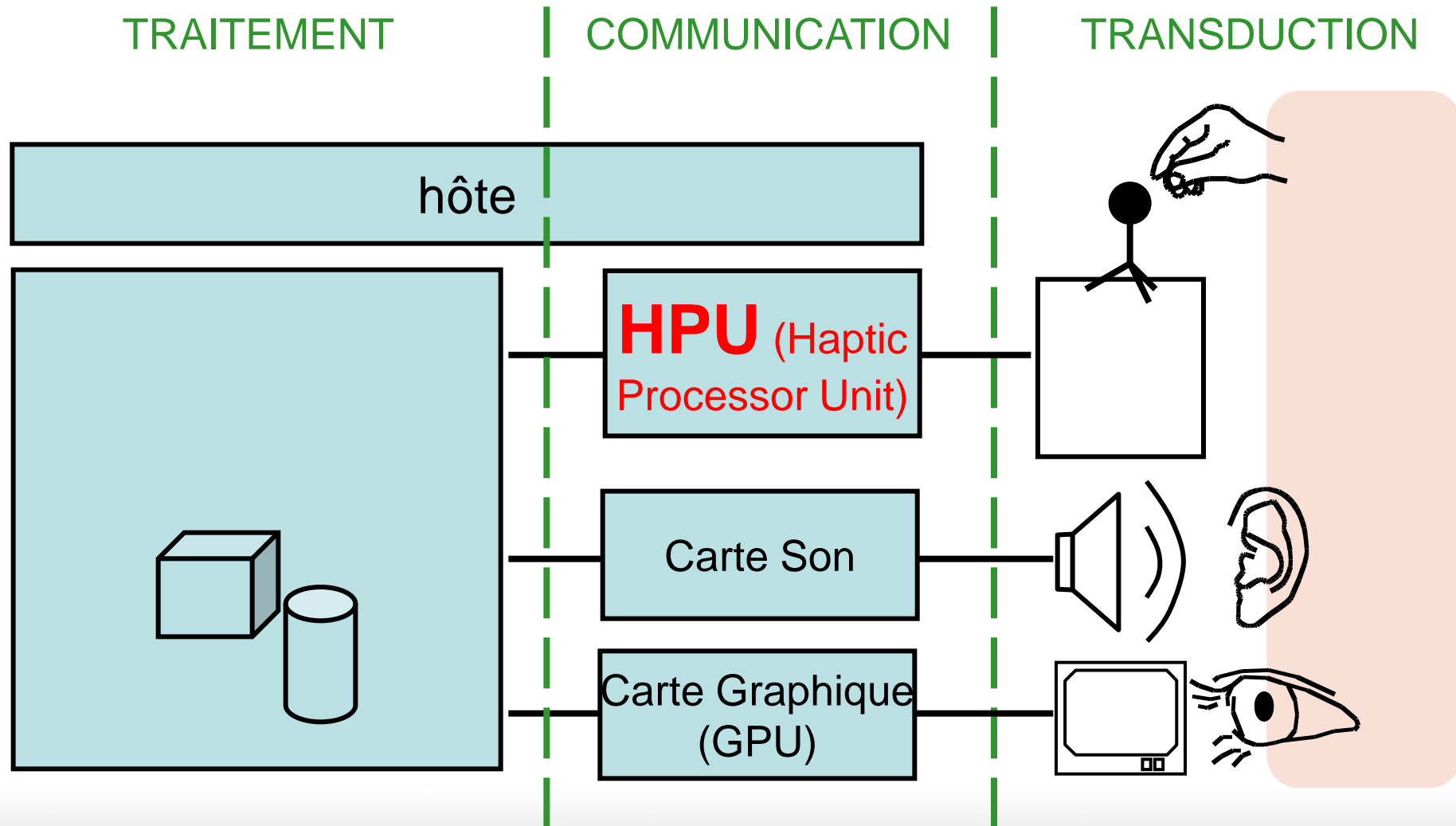


3. Le HPU



3. Le HPU

1. Communication



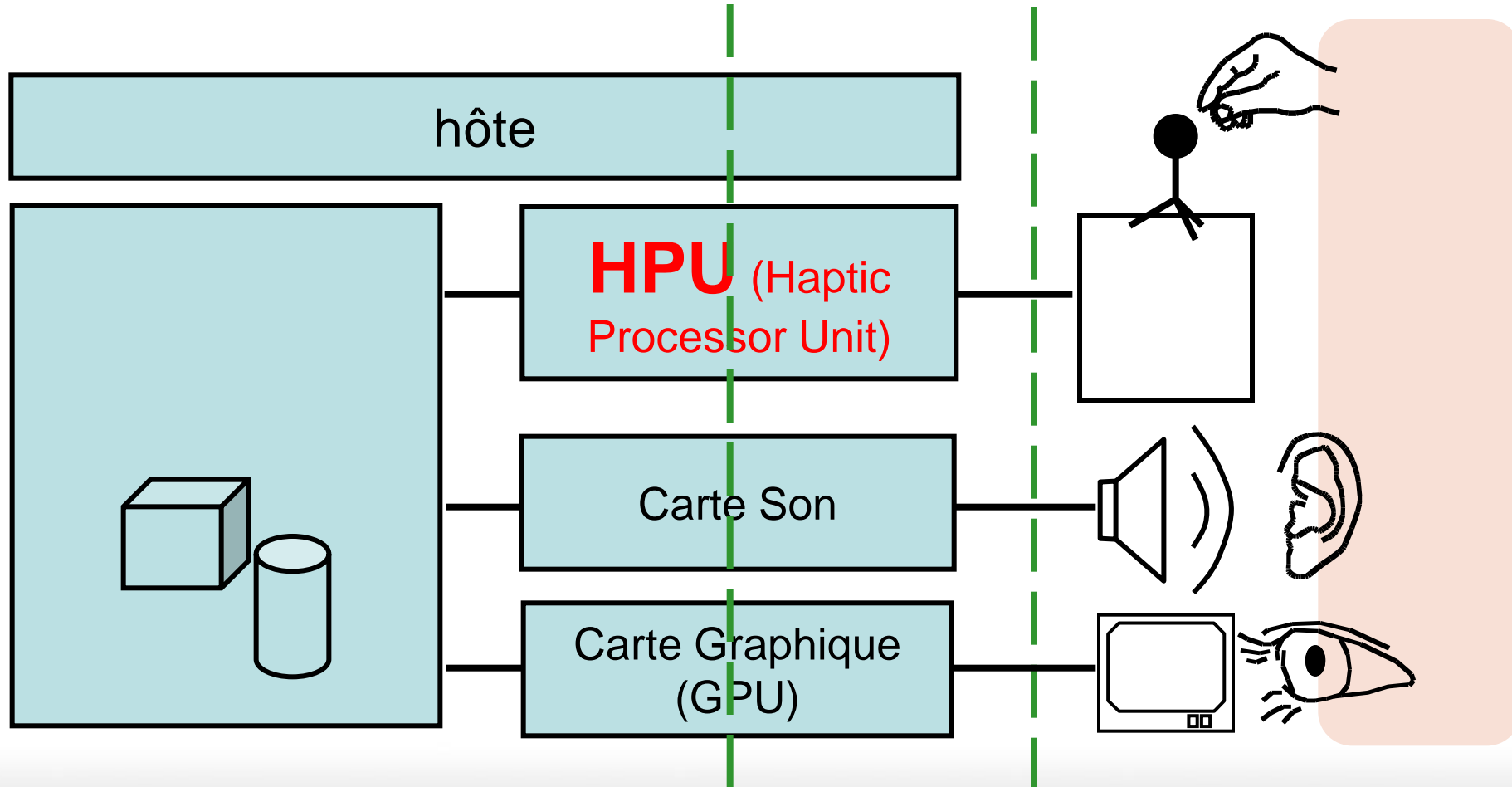
3. Le HPU

2. Traitement

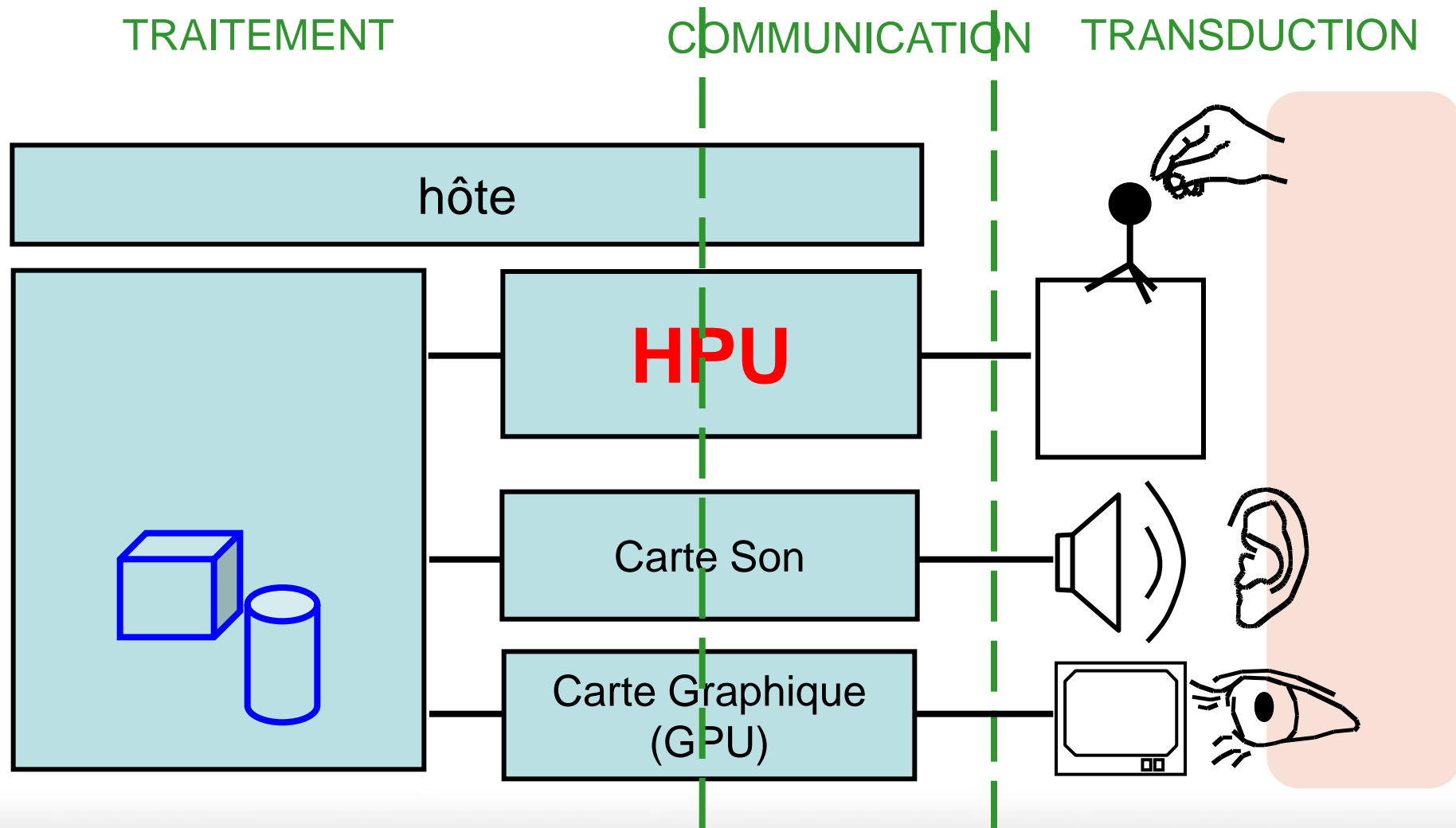
TRAITEMENT

COMMUNICATION

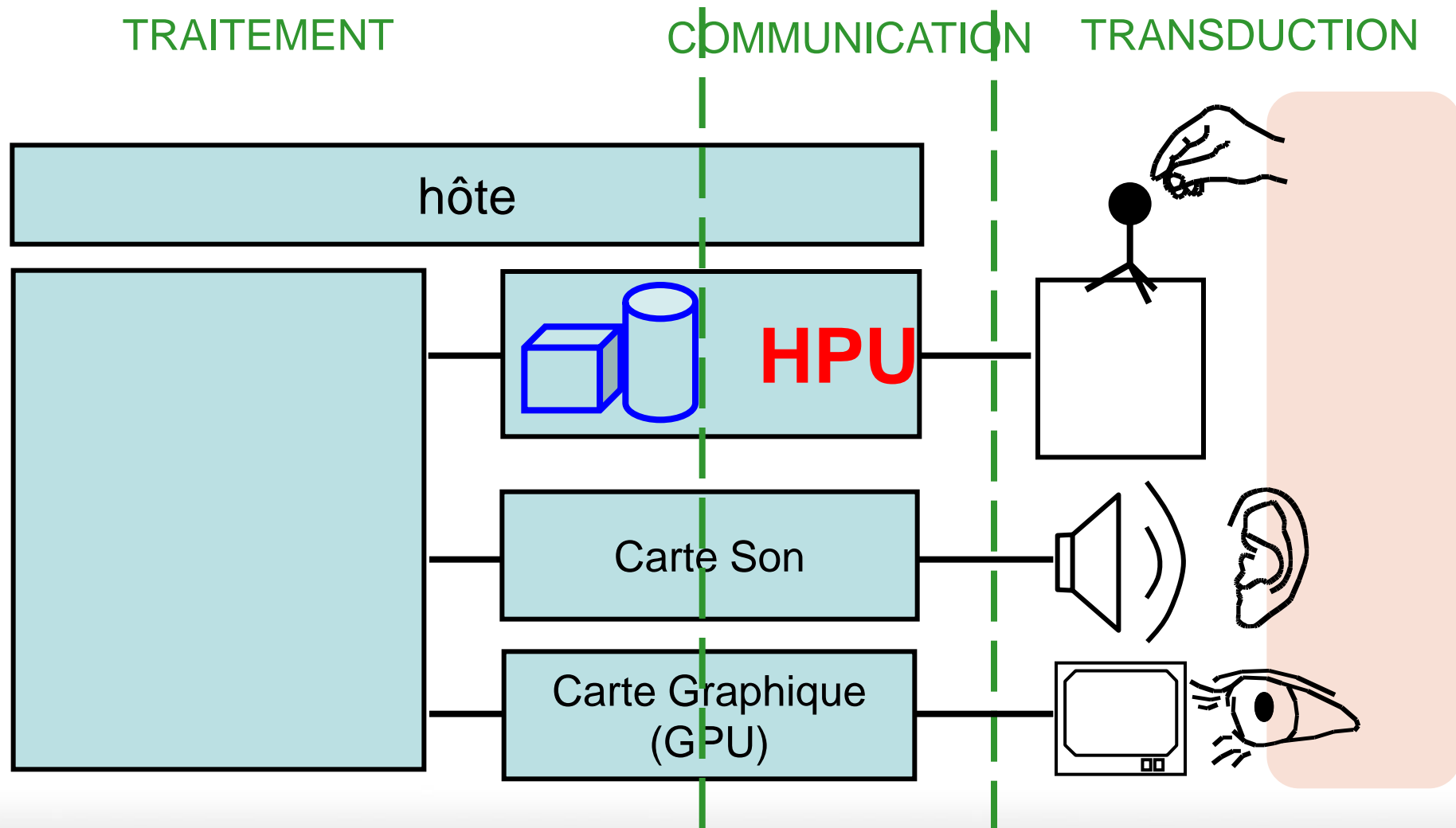
TRANSDUCTION



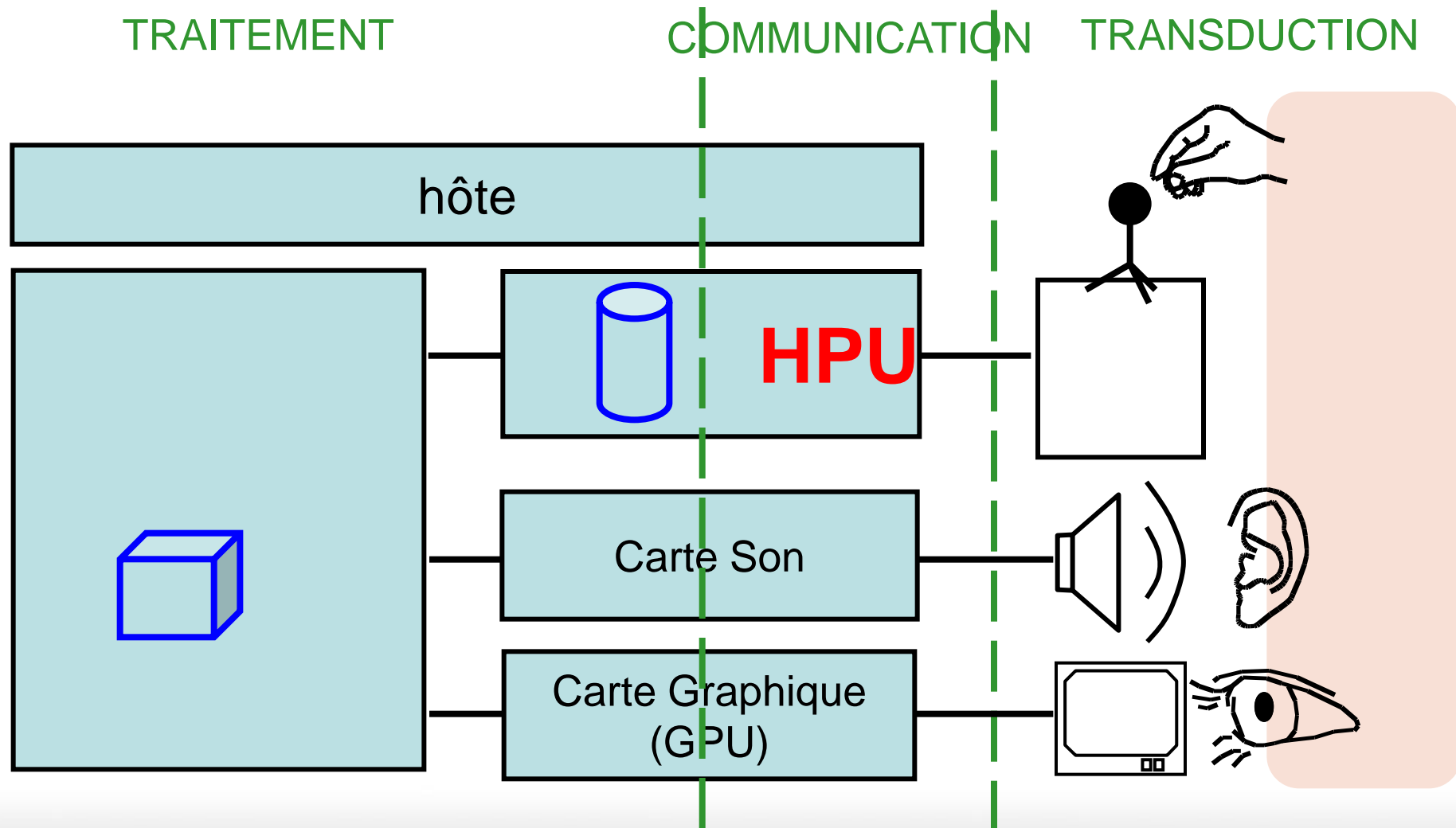
3. Le HPU



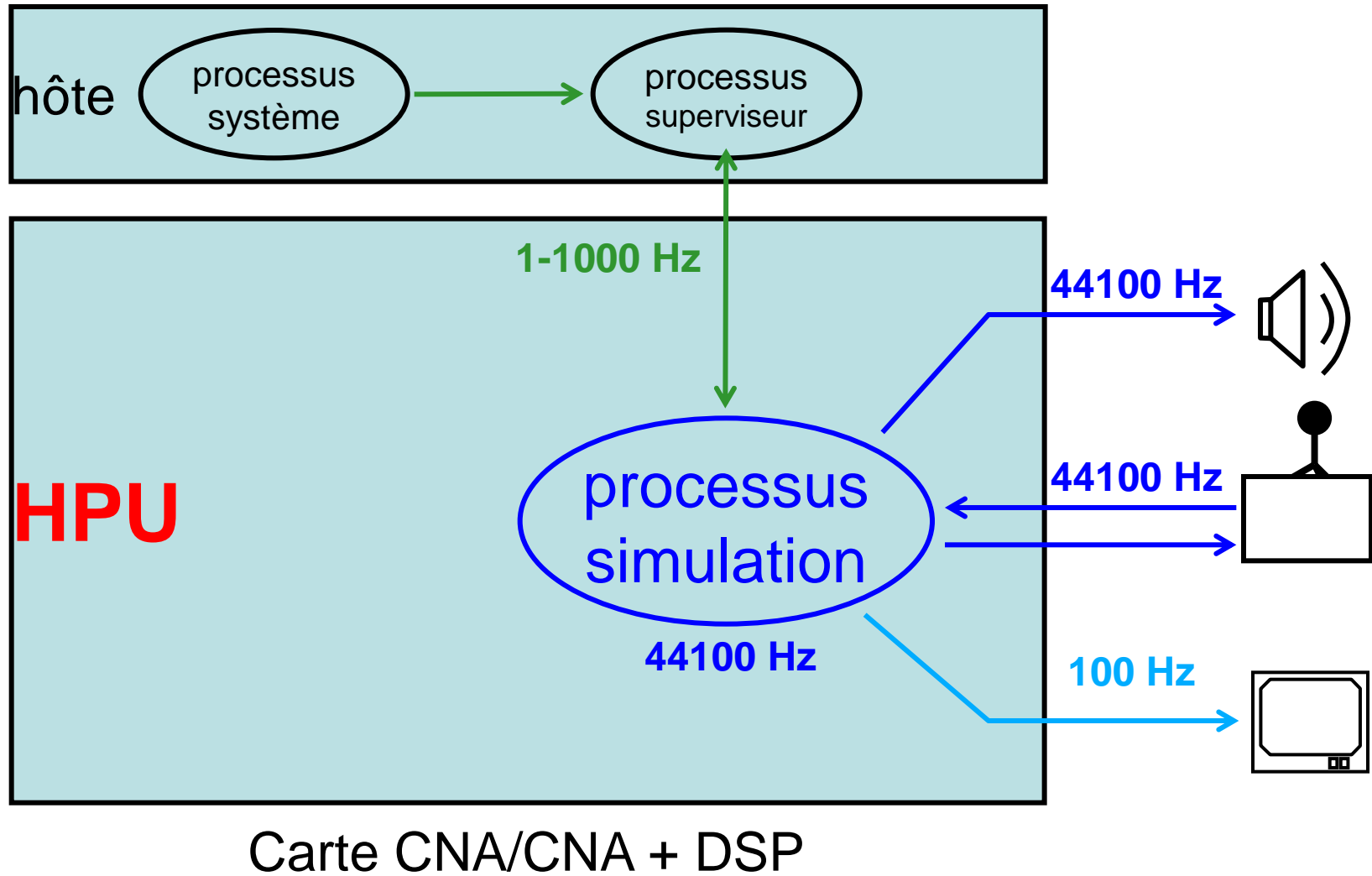
3. Le HPU



3. Le HPU

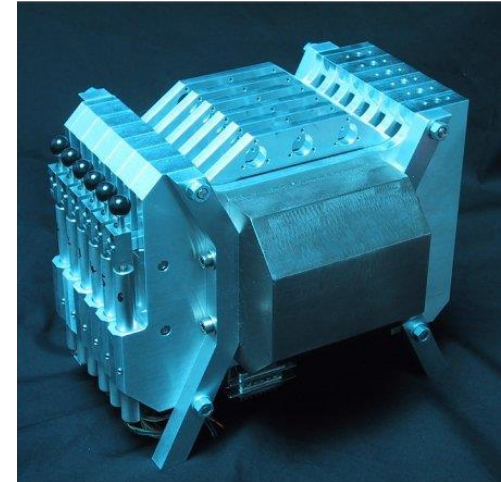
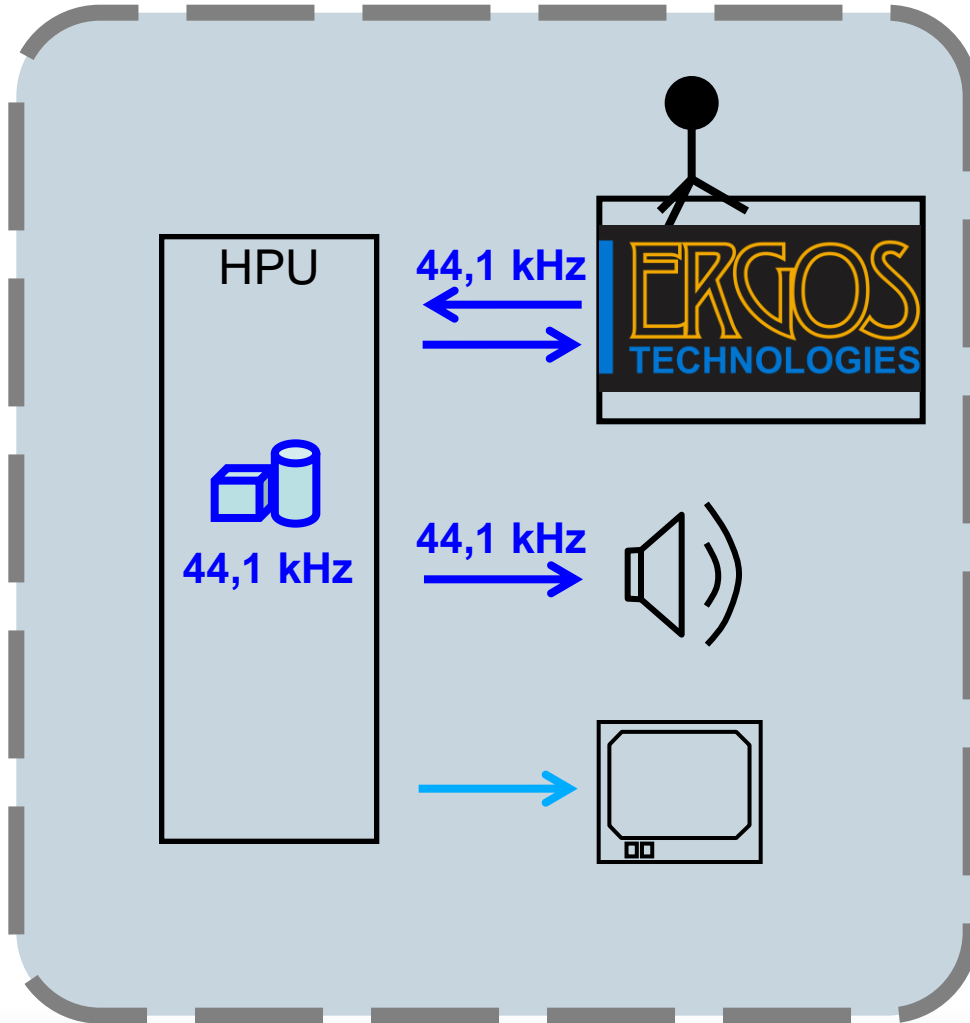


4. ERGON_X



4. ERGON_X

ERGON_X

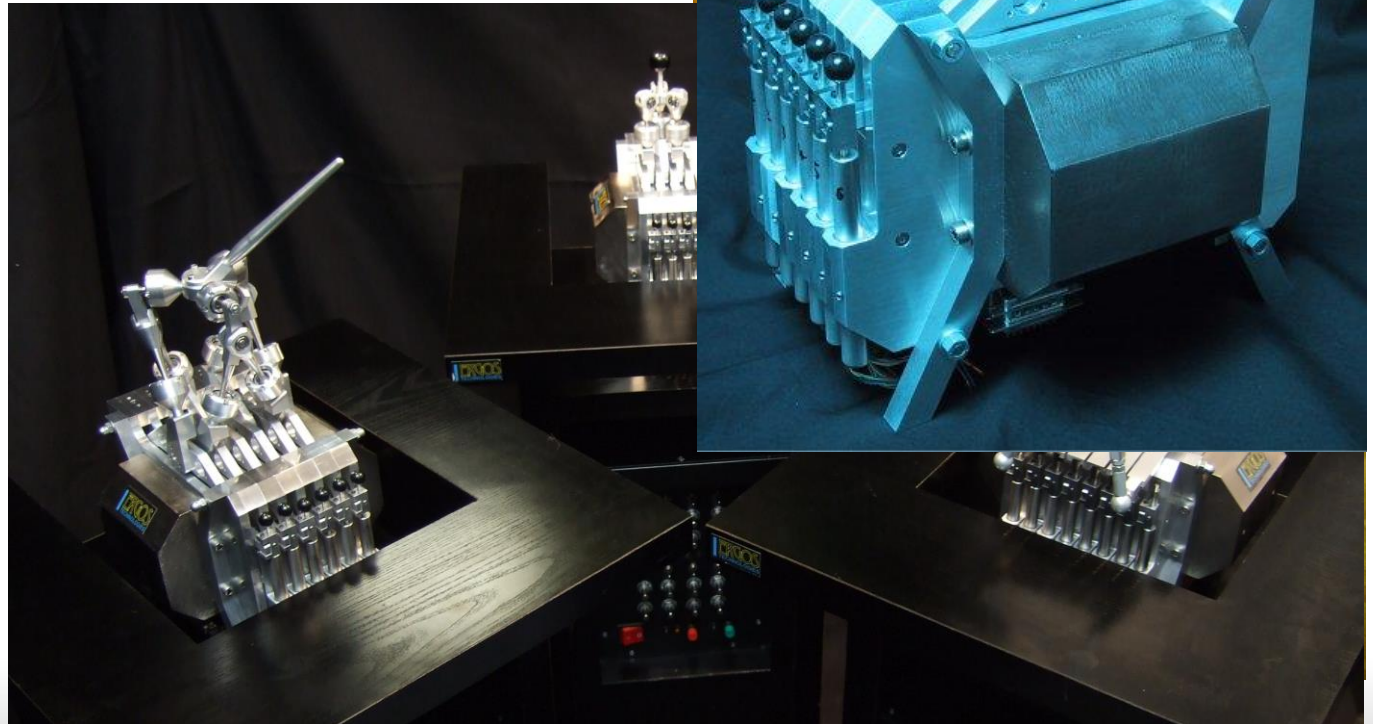


**excellentes
performances
dynamiques**

4. ERGON_X

ERGOS Technologies

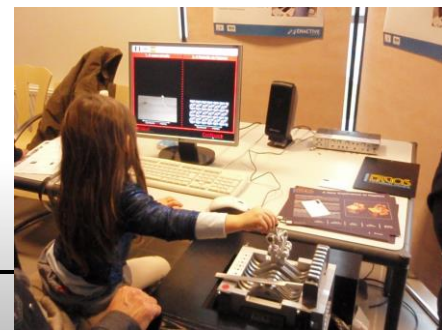
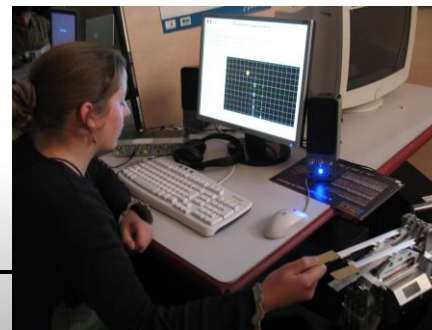
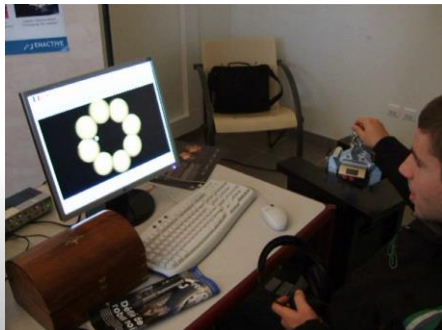
- Base: clavier modulaire rétroactif (CRM ®)
- Rack électronique compact
- Adaptateurs cinématiques:
 - Clavier
 - Stick 2D
 - Stick 3D
 - Stick 6D
 - Archet
 - Pincers
 - etc



5. Validation et expérimentation

8 études / 3 axes :

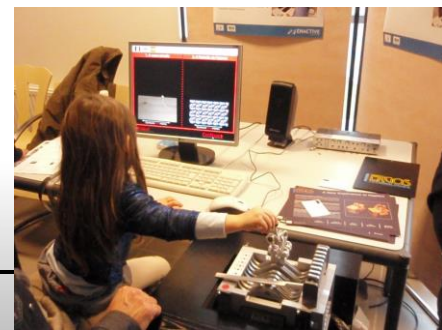
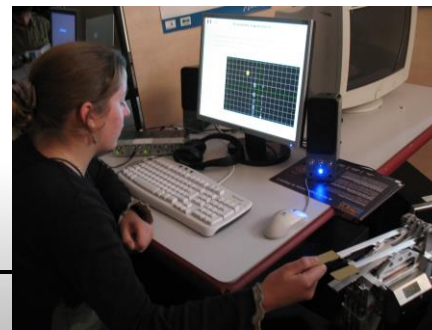
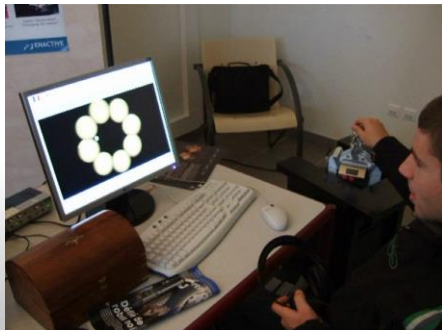
- Démonstrateur pour la technologie ERGOS
 - le « E »
- Un outil pour l'expérimentation sur la perception :
 - Le « *tapping* » : percussion 1D sur un objet sonore
 - perception de l'élasticité
- Emblematic Enactive Scenarios (EES) :
 - Pebble Box (*la boîte à cailloux*)
 - Ergotic Sounds (*le violon 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 :

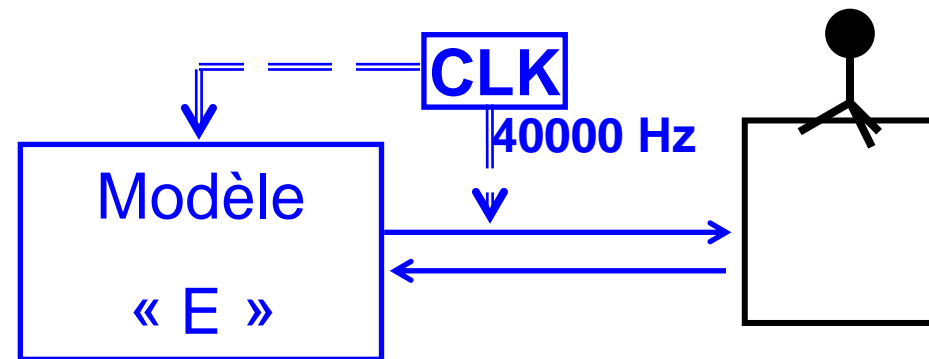
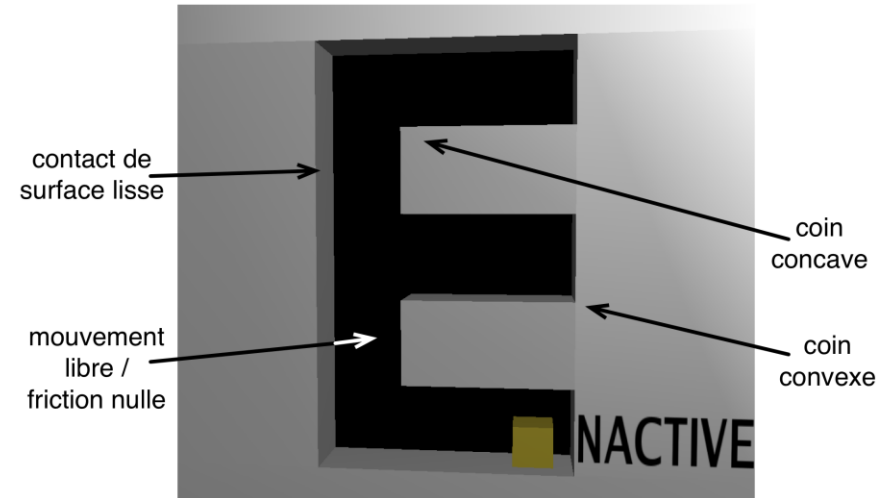
- Démonstrateur pour la technologie ERGOS
 - **le « E »**
- Un outil pour l'expérimentation sur la perception :
 - **Le « *tapping* »** : percussion 1D sur un objet sonore
 - **perception de l'élasticité**
- Emblematic Enactive Scenarios (EES) :
 - Pebble Box (*la boîte à cailloux*)
 - **Ergotic Sounds** (*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

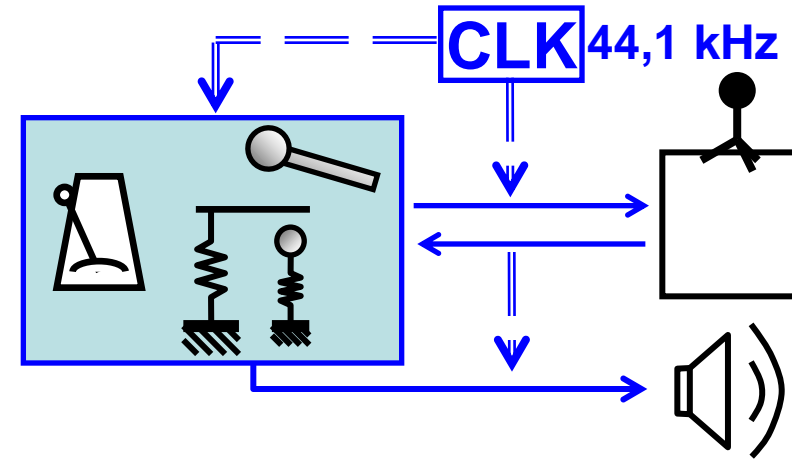
- Propriétés fondamentales du TGR
 - Mouvement libre
 - Contacts très rigides
- Démonstrateur pour ERGOS :
 - Temps réel synchrone à 40kHz
 - Contacts rigides / angles aigus / Mouvement libre
- Résultats
 - Raideur max simulée: 135 N/mm
 - Haptic Master : 50N/mm
 - Phantom Desktop : 3,5N/mm
 - Sensation 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

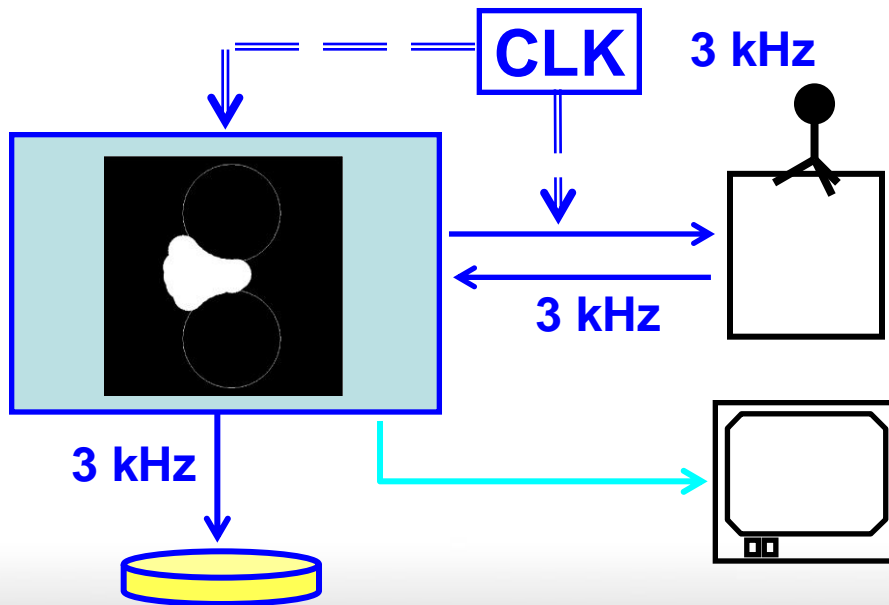
- Perception de l'élasticité
(collaboration avec G.Jansson, univ. Uppsala)
 - Manipulation d'une « pâte » déformable au travers d'un goulet
 - Élasticité non-linéaire
 - Geste seul / geste + vision

Raideur simulée faible



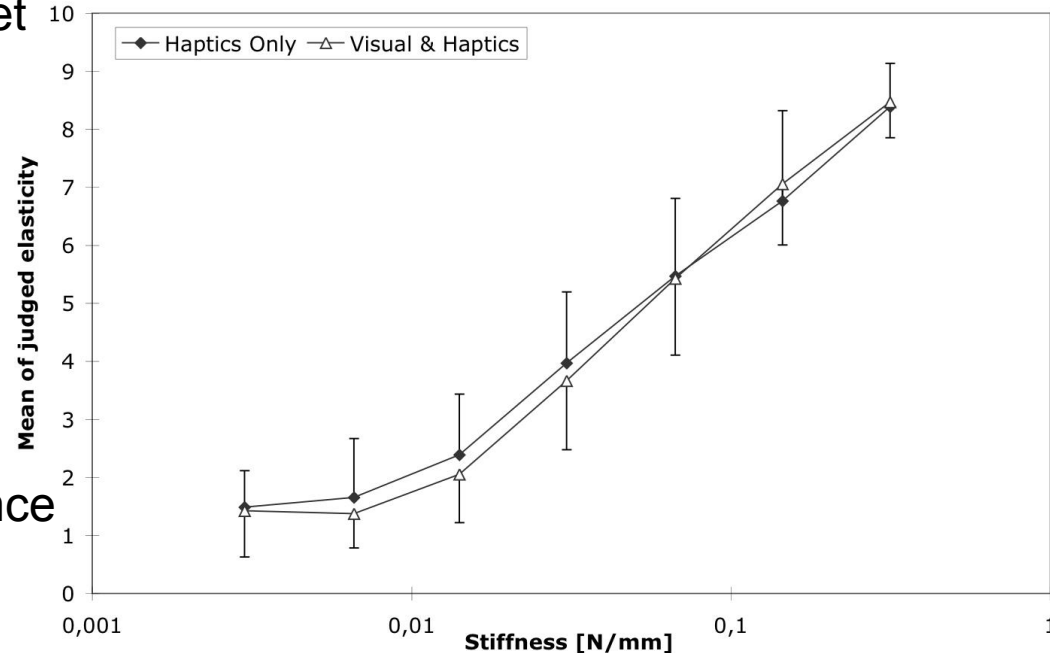
Raideur simulée forte

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



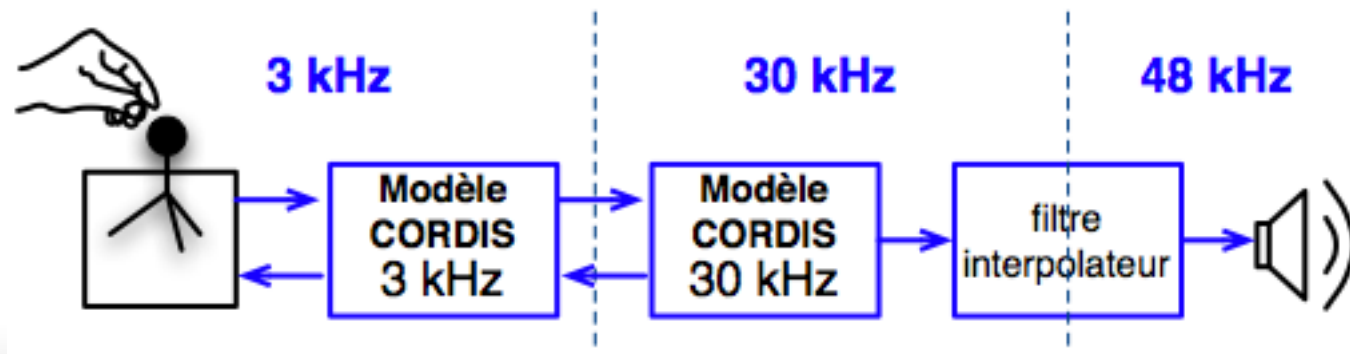
5. Validation et expérimentation : Elasticité

- 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



présence

Jeu
instrumental



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



présence

Jeu
instrumental



==> *Évidence instrumentale*

==> forte présence

==> démonstratif d'une *technologie enactive*

**Grâce à : l'architecture synchrone, 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 Vilette 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

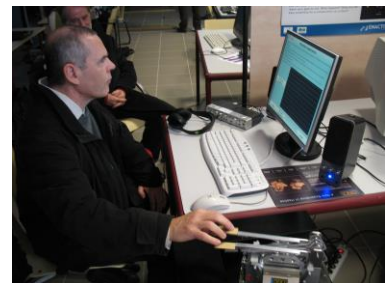
6. Perspectives

- **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

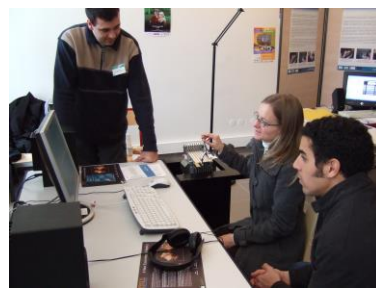
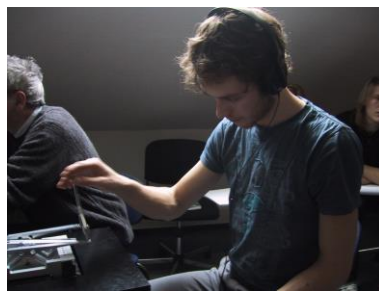
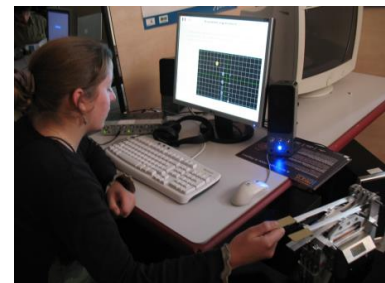
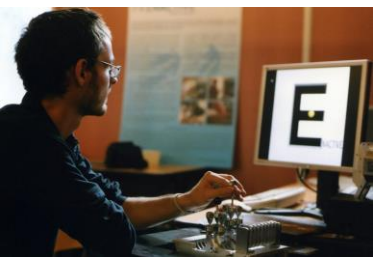
Ces signaux sont : *nombreux, multidimensionnels, de très grande bande passante, de longue durée*
 - De nouveaux outils d'analyse
- **Activité expérimentale pour les situations enactives**
 - Psychophysique « conventionnelle » vs. approche enactive

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

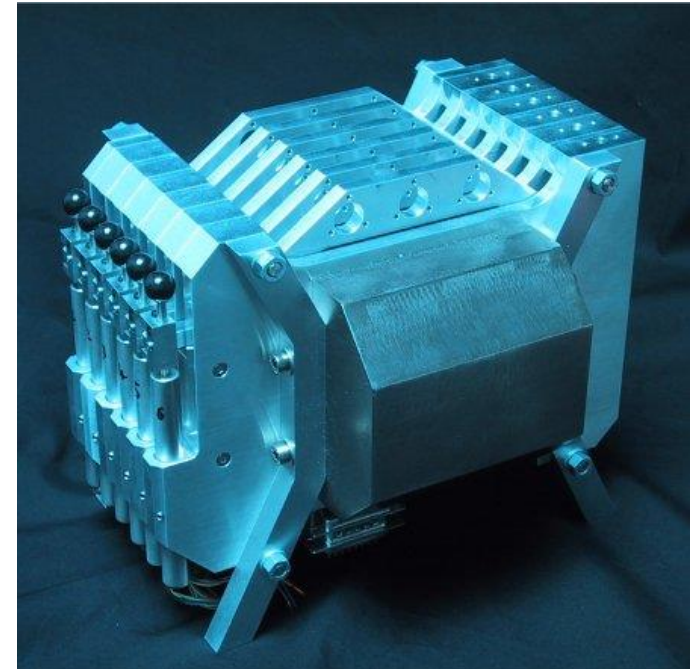
Inertie de la partie mobile	300g par tranche
Friction en mouvement libre	$5 \cdot 10^{-3}$ N
Déplacement	20mm

Actionneurs

Force max par tranche (pic)	200 N
Force max par tranche (cont.)	60 N

Capteurs

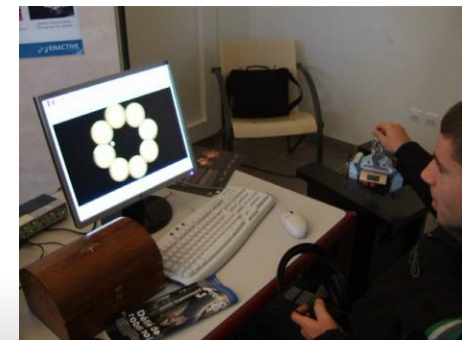
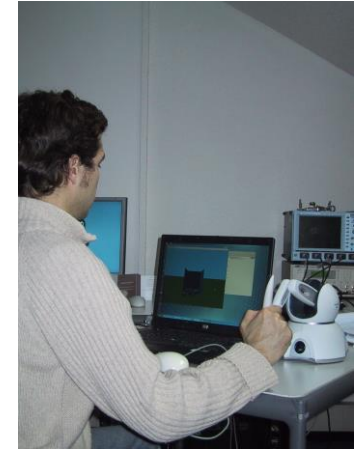
Résolution des capteurs	1 μ m
-------------------------	-----------



==> Excellentes performances dynamiques

5. Validation Expérimentation: EES Pebble Box

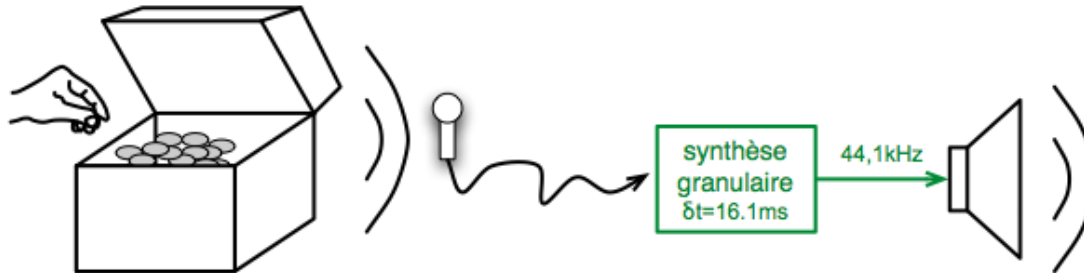
- Le paradigme de la « boîte de cailloux »
- 3 implantations complémentaires:
 - PB1: Sile O'Modhrain et Georg Essl (QUB)
 - PB2: Charlotte Magnusson (ULUND)
 - PB3: ACROE & ICA



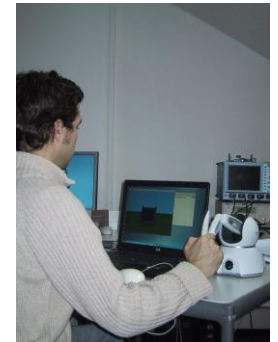
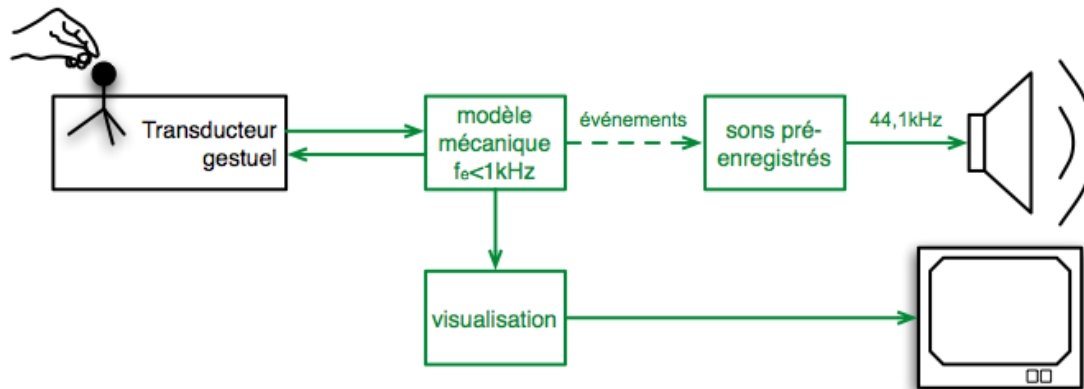
	Interaction à mains nues	Interaction outillée + TGR
Sons pré- enregistrés	PB1	PB2
Sons de synthèse		PB3

5. Validation Expérimentation: EES Pebble Box

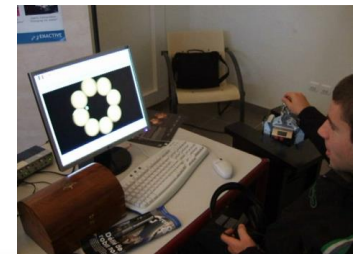
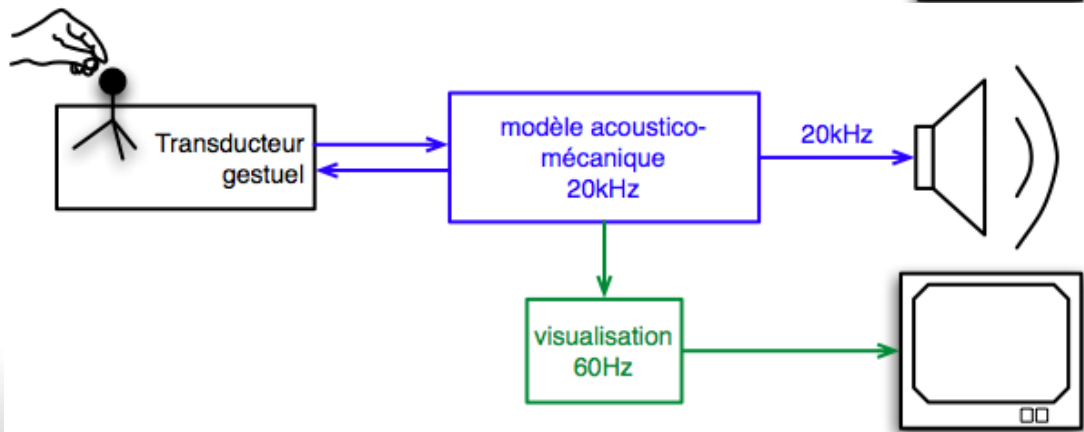
PB1



PB2



PB3



5. Validation Expérimentation: EES Pebble Box

« *Impression de marcher dans l'eau* »



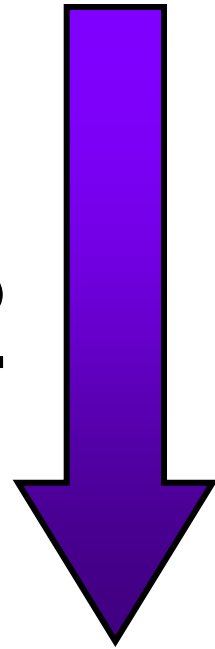
PB1

« *Eating an apple* »

« *marcher sur des insectes* »

Dimension narrative forte

Procédures Exploratoires Emergentes
(**EEP**)



PB2



Apprentissage Dynamique de la
Manipulation (**DMA**)

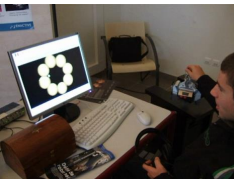
Dimension descriptive forte

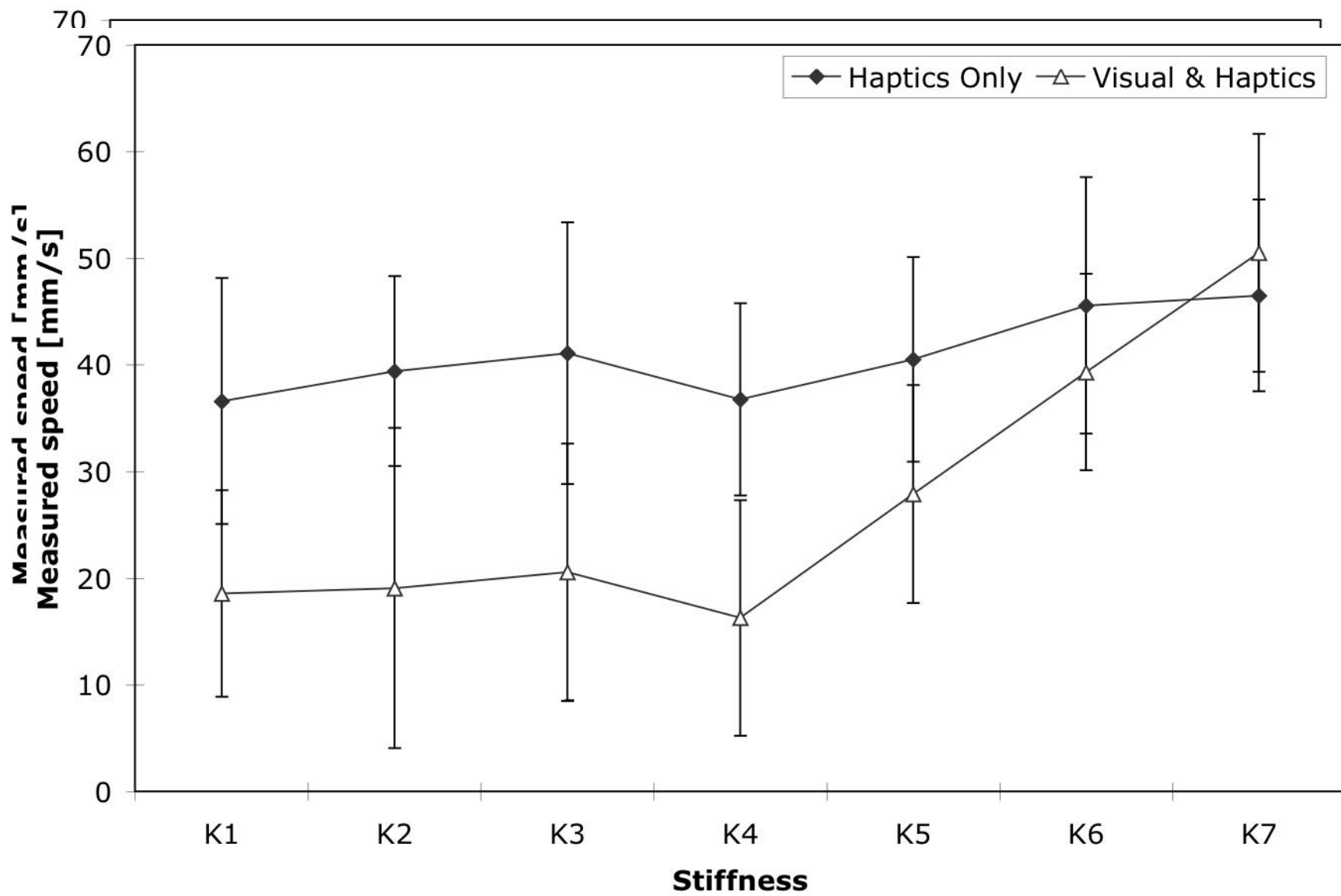
PB3

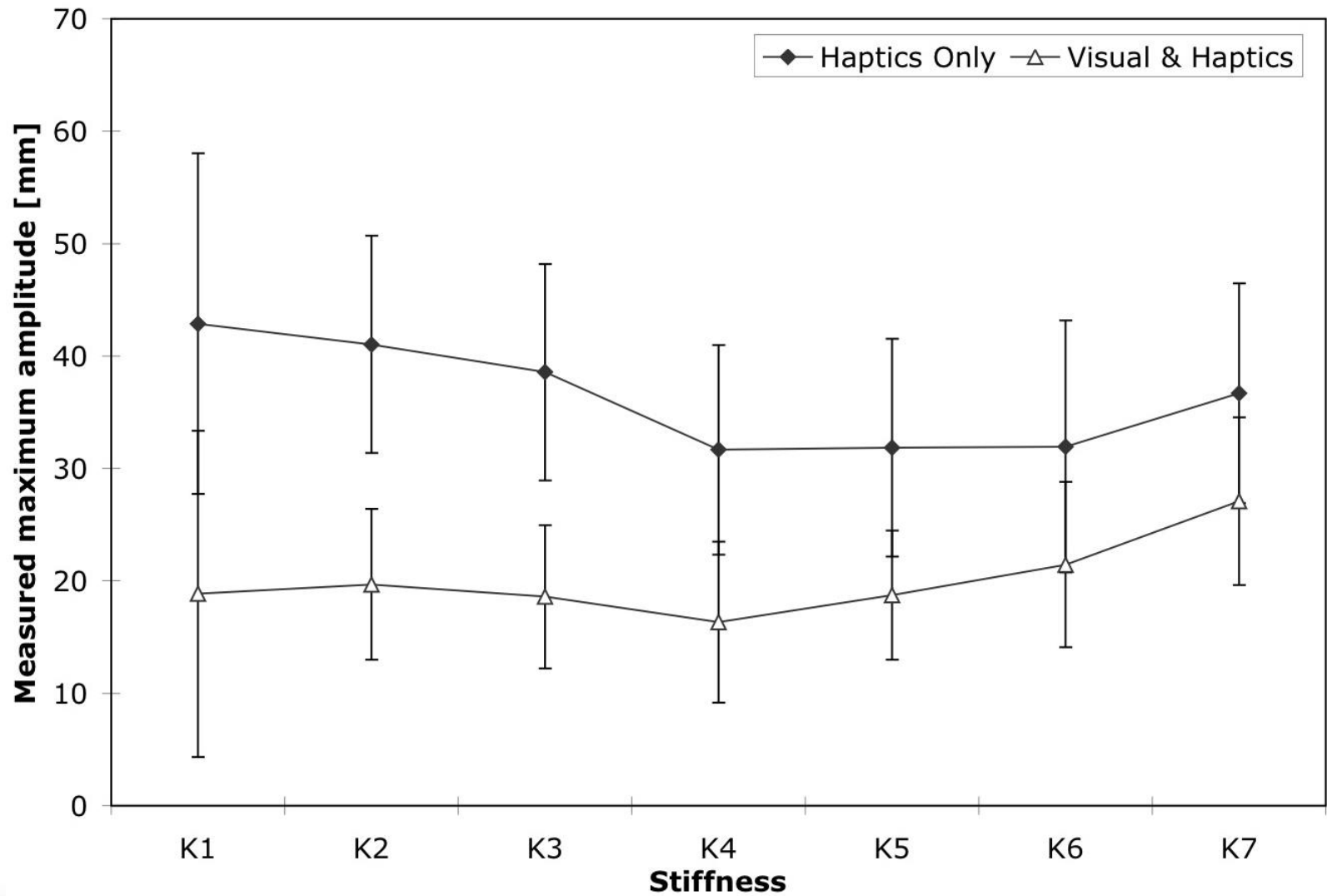
« *jeux avec des boules élastiques* »

« *un matériau granulaire* »

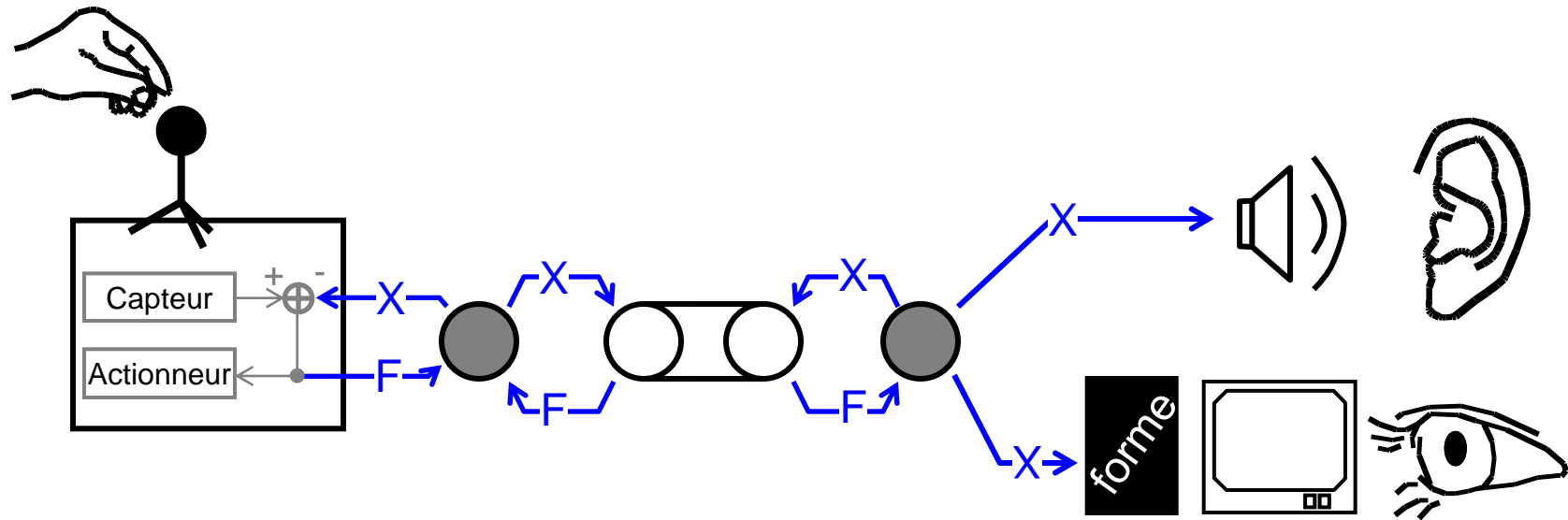
« *a box of metallic marbles* »







CORDIS et TGR en mode Admittance



Task-based functional approach

