Humanisme et Informatique : Antinomie ou Harmonie ?

Robot : Un nouvel allié dans les soins ?

La robotique pour l'aide au geste médical et l'assisance dans l'équipe AGATHE

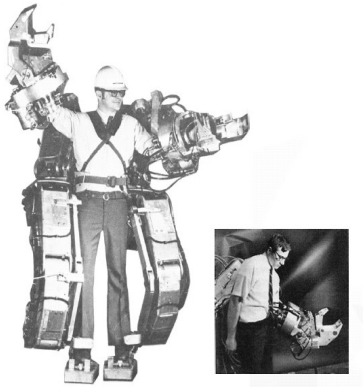
1 avril 2014

MdC Ludovic Saint-Bauzel

UMR 7222

Sous la tutelle de

Petite chronologie des Exosquelettes : Nouveau ?



Hardiman, 1965

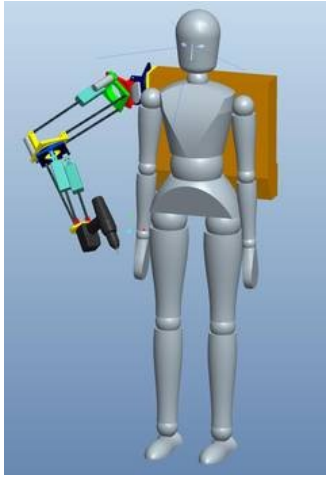
HAL-5, 2008

Hercule - 2012

Lokomat

Armin

Rewalk



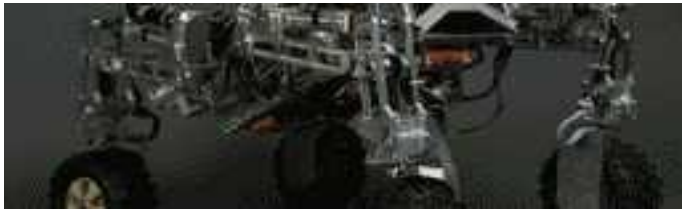
BORESCOPE - BiOnic ExoSkeleton for OrthoPedic surgery, 2014

ISIR
INSTITUT
DES SYSTÈMES
INTELLIGENTS
ET DE ROBOTIQUE

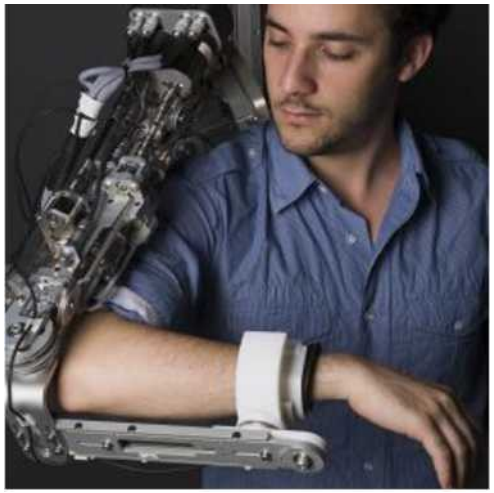
Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique

UPMC/CNRS UMR7222 – INSERM U 1150

- *SYROCO*
  - *Sols non-structurés*
  - *Drones*
  - *Robots Humanoïdes*
- *INTERACTION*
  - Haptique
  - Nano-robotique
  - Signaux Sociaux (Émotion..)



- *AMAC*
  - Intelligence Artificielle (RL)
  - Apprentissage moteur
  - Neuro-Sciences
- AGATHE
  - Robotique chirurgicale
  - Rééducation
  - Analyse du mouvement humain



Équipe AGATHE

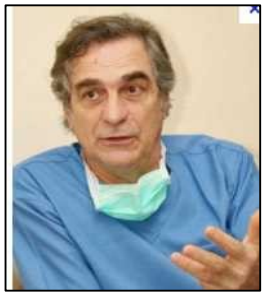
Assistance au Geste et Aide THErapeutique

UMR 7222

Sous la tutelle de

AGATHE

Médecins :



PUPH
B. Gayet

MCUPH
P. Mozer

MCUPH
J. Nizard

PU
J. Szewczyk

PU
G. Morel

MCU
V. Pasqui

DR
A. Roby-Brami

MCU
M.A. Vitrani

MCU
A. Sahbani

MCU
W. Bachta

MCU
L. Saint-Bauzel

CR
N. Jarrasse

Chirurgie ⟷ Assistance

Identité scientifique de l'équipe

Objectif = développer des dispositifs **d'assistance au geste** à des fins thérapeutiques :

- domaines interventionnels (chirurgie, radiologie)
- assistance à la déficience motrice (handicap, vieillissement)

Innover dans les technologies pour la santé

- Etude des usages, analyse des besoins.
- Facteurs humains (lien avec les sciences sociales).

Concevoir et commander des systèmes en interaction physique avec l'humain :
Développer le concept de comanipulation

Intégrer une connaissance sur le système sensori-moteur humain

- Analyse et caractérisation des mouvements / gestes / posture
- Neurosciences ⇒ modèles

Axes de recherche

Axe 1 : Analyse et modélisation des gestes et des mouvements humains

- Biomécanique et (neuro)sciences du mouvement
- Reconstruction des mouvements articulaires
- Organisation des synergies
- Caractérisation des pathologies

Axe 2. Conception et optimisation de dispositifs en interaction physique

- Mécatronique
- Méthodologie de conception optimale
- Conception des interfaces et de leur instrumentation
- Approche système

Axe 3. Commande pour l'assistance au geste par comanipulation

- Commande référencée capteurs : commande en efforts, asservissements visuels
- Partage des commandes, adaptativité au sujet
- Intégration de modèles issus des neurosciences

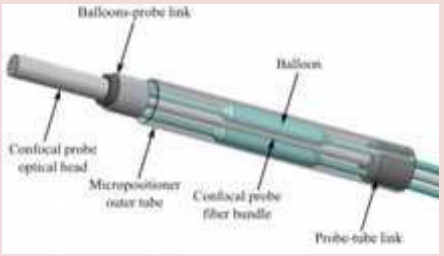
Axe 4. Evaluation des systèmes en interaction et applications cliniques

- Méthodologie d’évaluation de la performance
- Evaluation en situation clinique (preuve de concept jusqu’à étude clinique)

Objets des recherches

- Dispositifs de guidage du geste médico- chirurgical (comanipulation parallèle)

- Instruments actifs (comanipulation série)

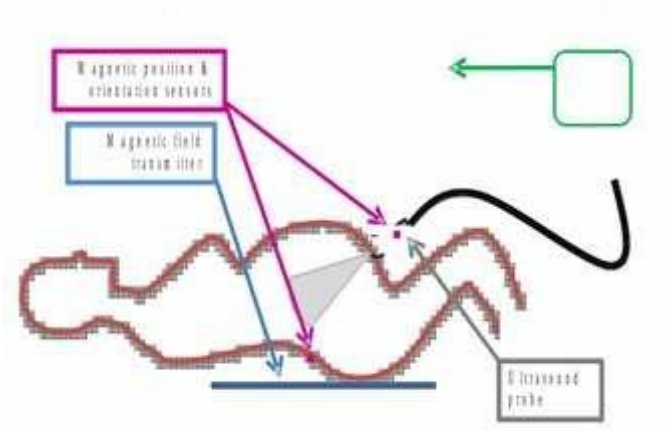


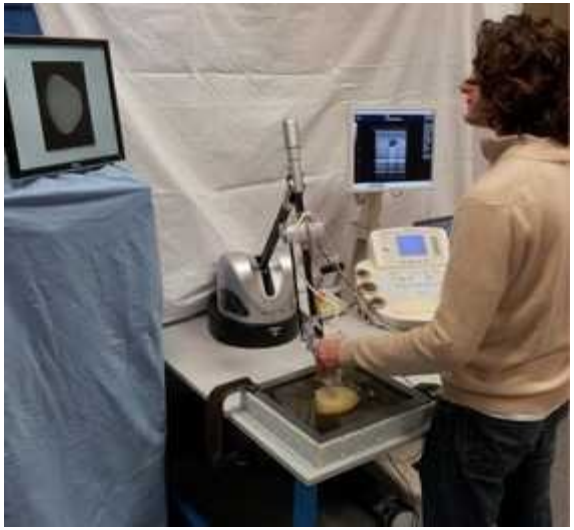
- Dispositifs pour l’assistance posturale

- Exosquelettes (comanipulation multi-ports)

Exemple 1 : assistance au positionnement d'une sonde échographique

- **Difficultés gestuelles :**
  - Recalage entre modèle anatomique 3D et plan de la coupe échographique
  - Synchronisation main-œil
  - Déformations des structures sous l'application des efforts de la sonde.
- **Applications** :
  - Obstétrique : suivi de la tête fœtale (collaboration TrigMedical)
  - Urologie : guidage de la biopsie de la prostate (ANR Prosbot)
  - Dépistage du cancer du sein (collaboration GE Healthcare)
- **Fonctions étudiées** :
  - Recalage et localisation 3D
  - Guidage vers une cible
  - Ressenti des déformations



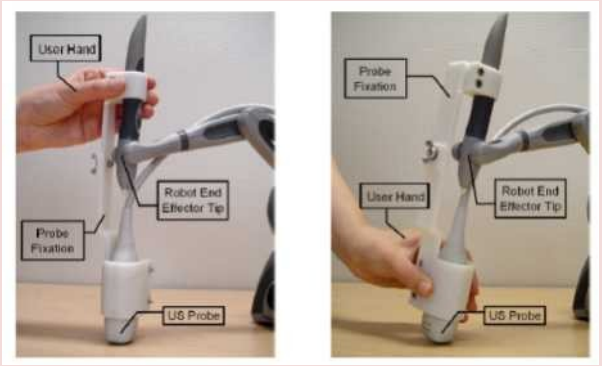


Exemple 1 : assistance au positionnement d'une sonde échographique

Analyse de l'impédance selon les d.d.l. de positionnement et d'orientation

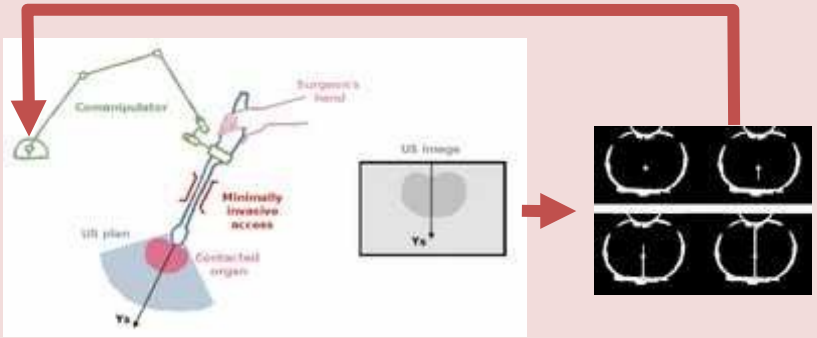
Projet ANR TECSAN Prosbot. (Koelis, TIMC, CIC-IT Grenoble).

Minimisation de l'actionnement



A. Marx et al, IEEE ICRA'11.

Co-asservissement visuel



C. Poquet et al, IEEE ROBIO'11 (best student paper finalist)

Evaluation clinique (analyses sur des données patients)

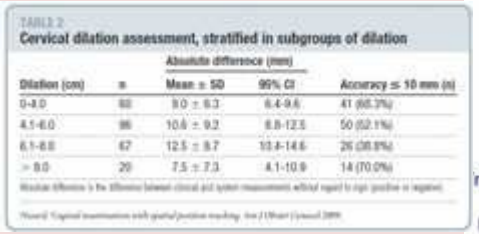
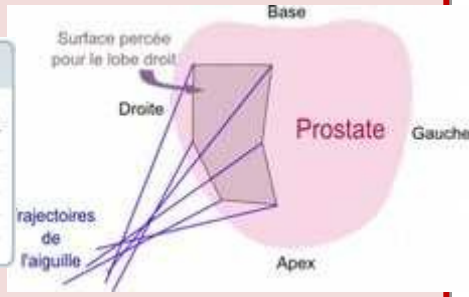


TABLE 2
Cervical dilation assessment, stratified in subgroups of dilation

Dilation (cm)	n	Absolute difference (mm) Mean ± SD	95% CI	Accuracy ≤ 10 mm (n)
0–4.0	60	9.0 ± 6.3	6.4–9.6	41 (68.3%)
4.1–6.0	86	10.6 ± 9.2	8.8–12.5	50 (52.1%)
6.1–8.0	67	12.5 ± 8.7	10.4–14.6	26 (38.8%)
> 8.0	20	7.5 ± 7.3	4.1–10.9	14 (70.0%)

Absolute difference is the difference between clinical and system measurements without regard to sign (positive or negative).

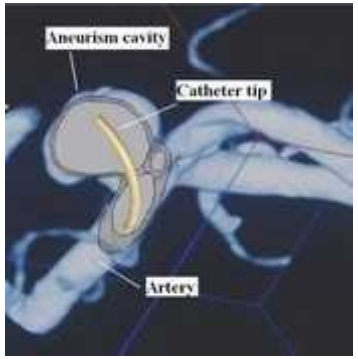
Source: Original examination with spatial/position tracking. Ion J Ultrasound Gynecol 2009.

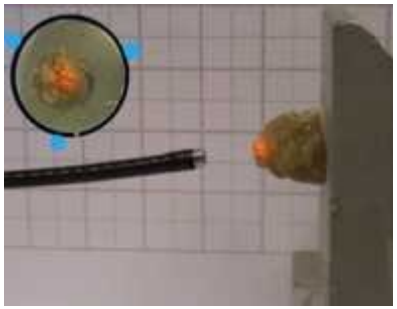


G. Coffin et al., Journal of EndoUrology. 2011
J. Nizard et al., Am J Obstet Gynecol, 2009

Exemple 2 : instrumentation active en chirurgie minimalement invasive

- **Difficultés gestuelles** :
  - Accès au site opératoire par un point d'incision ⇒ perte de mobilité distale.
  - Cibles opératoires mobiles.
  - Synchronisation main-œil avec vision déportée sur un écran.
  - Influence de la conception de l'instrument sur la posture du chirurgien
- **Applications** :
  - Suture en chirurgie laparoscopique
  - Cathétérisme actif
  - Destruction des calculs rénaux sous urétéroscopie
  - Endomicroscopie confocale
- **Fonctions étudiées** :
  - Augmentation de la dextérité
  - Stabilisation du geste
  - Suivi automatique de cibles (asservissement visuel)



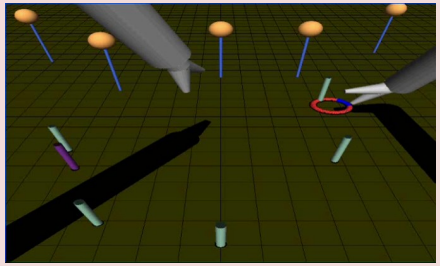


Exemple 2 : instrumentation active en chirurgie minimalement invasive

Analyse geste / posture du chirurgien

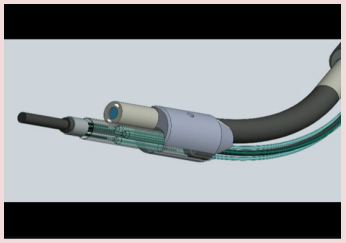
B. Herman et al, IEEE/IRSJ IROS 2011

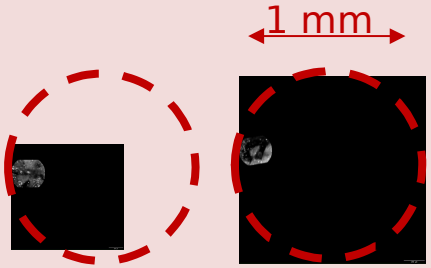
Conception par prototypage semi-virtuel



A. Hassan Zahraee et al, IEEE/ASME Trans. Mechatronics. 2011.

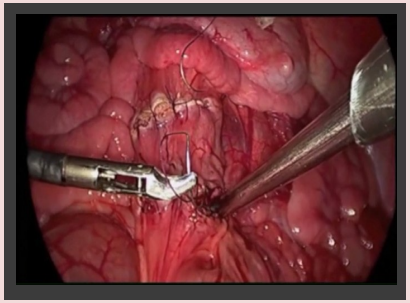
Asservissement visuel pour la gestion des déplacements microscopiques





B. Rosa et al, IEEE Trans.on Biomedical Engineering, 2012.

Evaluation clinique d'un instrument industrialisé



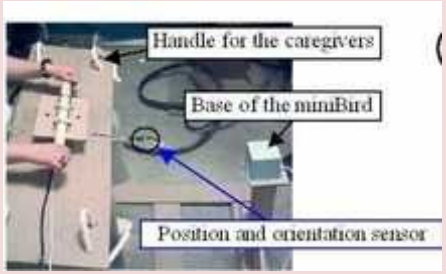
J. Paik et al., 2 brevets internationaux, licences à Endocontrol.

Exemple 3 : assistance à la verticalisation et à la déambulation

- **Difficultés gestuelles** :
  - Déficience de stabilité posturale.
  - Difficultés de déambulation (motrices et cognitives).
  - Transfert assis → debout.
- **Applications** :
  - Syndrome post–chute chez la personne âgée.
  - Alzheimer, Parkinson
  - Syndrome cérébelleux (sclérose en plaques)
- **Fonctions étudiées** :
  - Assistance à la stabilité posturale.
  - Assistance à la déambulation.
  - Sécurisation de la verticalisation.
  - Contrôle de l'activité physique.

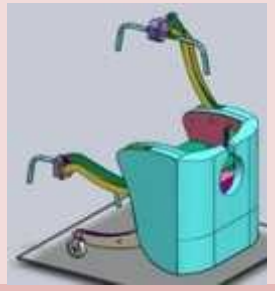
Exemple 3 : assistance à la verticalisation et à la déambulation

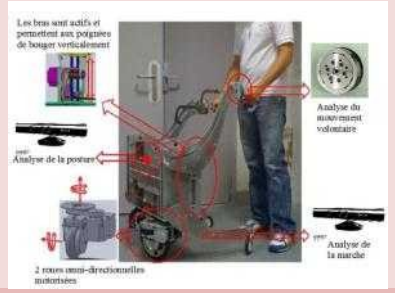
Analyse des postures et interactions



L Saint-Bauzel et al, IEEE ICORR, 2007

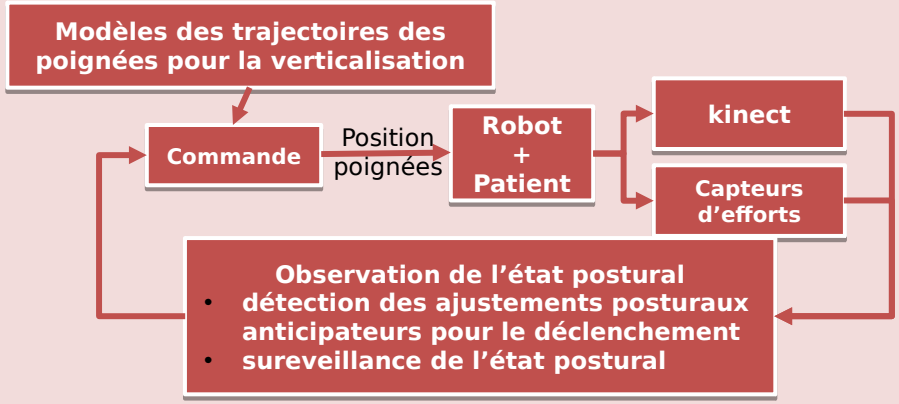
Conception, dimensionnement, instrumentation





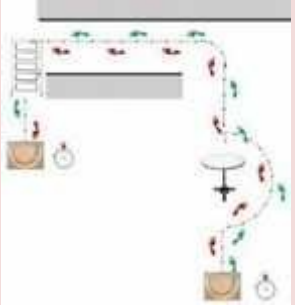
Projet ANR TECSAN MIRAS (Robosoft, LAAS, Hop. Ch. Foix, CHU Toulouse, Medialis)

Détection des intentions et adaptation



L. Saint-Bauzel et al, IEEE Trans. Robotics, 2009

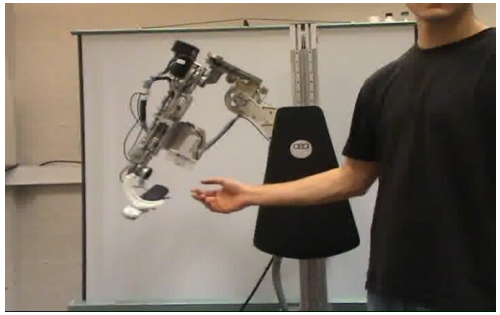
Evaluation pré clinique



V. Pasqui et al, IRBM, 2012

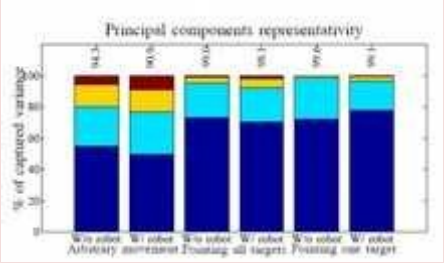
Exemple 4 : assistance aux mouvements du bras par un exosquelette

- **Difficultés gestuelles** :
  - Pertes de motricité totale ou partielle
  - Synergies pathologiques
  - Synchronisation épaule-coude
  - Spasticité
- **Application** :
  - Rééducation neuromotrice pour des sujets hémiparétiques post AVC
  - Mode passif en phase aiguë
  - Mode semi actif en phase sub-aiguë ou chronique
  - Quantification et caractérisation des pathologies
- **Fonctions étudiées** :
  - Transparence
  - Mobilisation passive (recherche de trajectoires)
  - Correction des coordinations



Exemple 4 : assistance aux mouvements du bras par un exosquelette

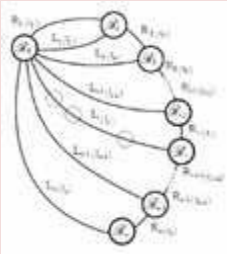
Analyse des synergies en vitesses



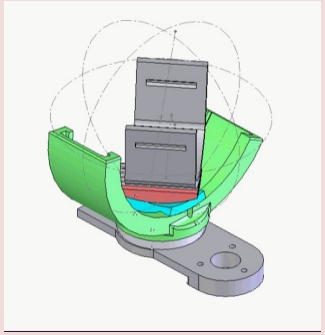
$$\dot{\mathbf{q}}_r(t) = \sum_{i=0}^{4} c_i(t)\mathbf{p}_i \approx \sum_{i=0}^{3} c_i(t)\mathbf{p}_i \quad \Rightarrow \mathbf{p}_4^T \dot{\mathbf{q}}_r \approx 0$$

V. Crocher et al, IEEE ICRA 2011

Conception d'interfaces isostatiques



$$\forall i \in 1 \cdots n, \quad dim(T_{S_{i-1}} + T_{R_i} + T_{L_i}) = 6 \quad and \quad (3a)$$
$$\forall i \in 1 \cdots n, \quad dim(T_{S_{i-1}} \cap T_{R_i}) = 0 \quad and \quad (3b)$$
$$dim(T_{S_n}) = 0 \quad , \quad (3c)$$



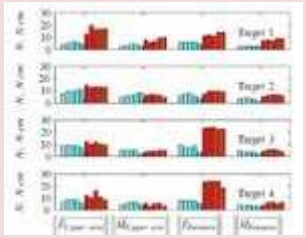
N. Jarrassé et al, IEEE Trans. Robotics. 2012.

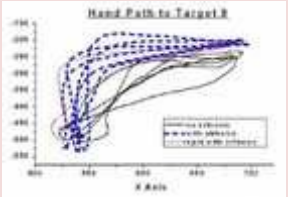
Commande active-aidée pour la correction des synergies

$$\tau_c = -b\left[\mathbf{C}^+\mathbf{C} + \varepsilon\alpha\left(\mathbf{I} - \mathbf{C}^+\mathbf{C}\right)\right]\dot{\mathbf{q}}$$

V. Crocher et al, IEEE/IRSJ IROS 2010

Méthodologies d'évaluation et intégration dans un protocole clinique



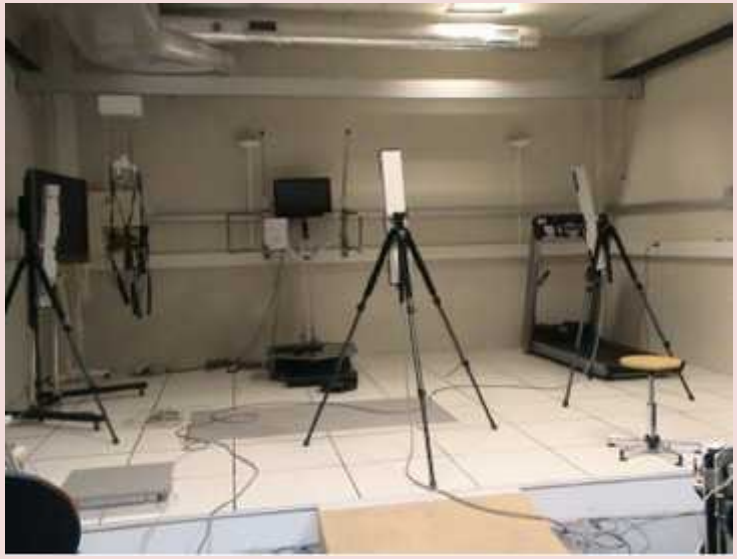


N. Jarrassé et al, IEEE Trans. Neural Sys Rehab, 2010
V. Crocher et al, IEEE Trans Neural Sys Rehab, 2012

Deux plateformes

- Robotique chirurgicale (resp. Jérôme Szewczyk)
  - Moyens robotiques, moyens d'imagerie, fantômes anatomiques, équipements de bloc
  - Réseau Robotex

- Analyse du mouvement (resp. V. Pasqui)
  - Tracking optique, EMG, plateformes de force
  - Dispositif de perturbation posturale
  - Robots d'assistance



Motivations

- Motivation principale :
  - Réduire le fossé entre les succès scientifiques et technologiques et les succès cliniques.
- Enjeux identifiés en robotique médicale :
  - Réduire les coûts.
  - Simplifier l'usage.
  - Prouver l'intérêt médical.

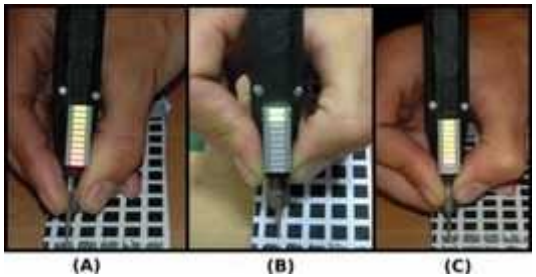
⇒ Pertinence du paradigme de la comanipulation.
  - Une insertion naturelle dans les procédures chirurgicales, sans modification importante de la pratique
  - Une aide ciblée, limitée à une ou deux fonctions.
  - Une rationalisation des protocoles et du suivi dans le domaine de la rééducation

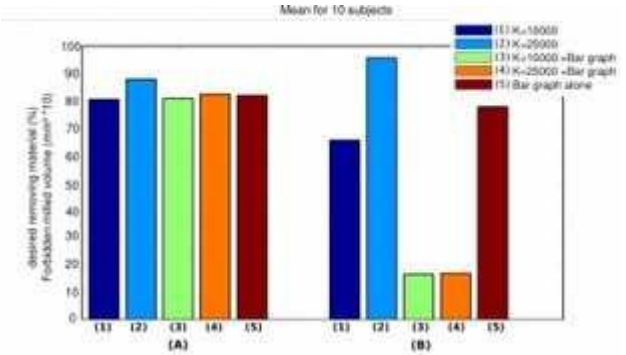
⇒ Importance de poursuivre la construction d'un modèle translationnel

⇒ Trois objectifs.

Trois objectifs

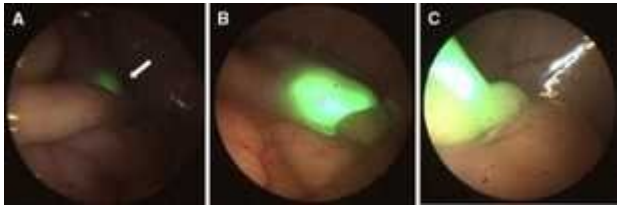
1. **Approfondir les recherches sur la comanipulation**
   - Capitaliser les résultats pour construire un corpus scientifique.
   - Optimiser l'assistance motrice tout en minimisant les actionnements.
2. **Explorer des nouveaux champs d'investigation en comanipulation**
   - Comanipulation pour l'apprentissage de gestes et apprentissage de la comanipulation
   - Multi-modalité pour l'assistance aux gestes
3. **Renforcer le potentiel de transfert des recherches**
   - Processus d'évaluation
   - Aspects liés aux sciences humaines :
     - Approche anthropologique
     - Acceptabilité des technologies
     - Etude la dynamique des projets d'innovation technologie pour la santé.



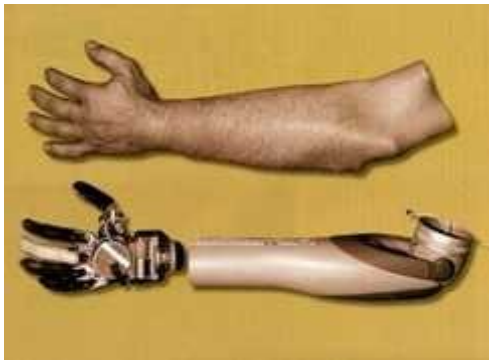


Mise en œuvre : trois projets

1. **Assistance au geste chirurgical :**
   - Chirurgie laparoscopique des organes déformables, pleins, opaques : apports de la commande référencée image (échographie, fluorescence)
   - NOTES (avec un usage rationnel de l'approche)
   - Réalité augmentée, retour haptique
   - Apprentissage des habiletés techniques



2. **Assistance et suppléance aux mouvements du membre supérieur :**
   - Synergies et exosquelettes : épaule-coude -> main (dextérité manuelle)
   - Démarrage d'une activité sur les prothèses
   - After-effects vs efficacité de la rééducation



3. **Assistance à la posture et à la déambulation :**
   - Perturbation posturale pour le diagnostic et la rééducation
   - Canne active

Alors !?

- Robot :

  Un allié pour **vos** soins ?

  - Oui
  - Non

Visions pour la robotique dans notre société

- *Transhumanisme*
- Utopie de la société de loisir
  - Esclave moderne : Travail n'est plus un prérequis mais un plaisir
  - Problème de société :
    - Définition de l'homme par ses passions et non par son origine, son travail
    - Une égalité de l'accès aux ressources

  → Faut-il croire en l'humanité pour bien répondre à ces problèmes de société?

    - Oui
    - Non

Merci !
Mes questions :) *

*Si nous avons un peu de temps

- Quel est l'apport idéal de la robotique pour vous ?
  - Aide au transfert lit-chaise
  - Aide au transfert lit-marche

Assistance à la dignité humaine ?

- Change et nettoyage automatique
- Aide à se nourrir

- Domotisation de la maison ?
  - Meubles
  - Portage d'objets lourds

- Salle de bain robotisée
  - Porteur du malade accès aux espaces
  - Salle de bain modifiée