



**list**  
cea tech

## ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST & INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Franck GEFFARD

## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

Activité historique : Le téléopération à retour d'effort

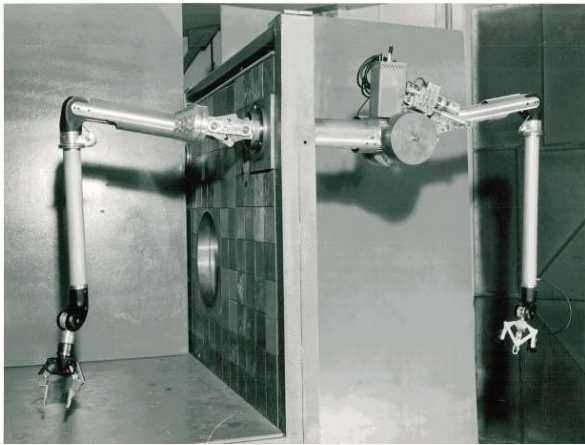
1966



2011



2015



### Approche

Commande en effort

- Interaction humain/robot environnement
- Mesure d'effort
- Actionnement haute performance

## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

Activité historique : Le téléopération à retour d'effort + IA

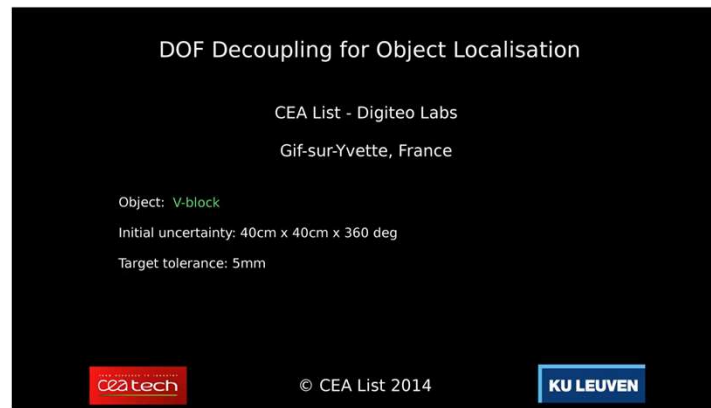
2015



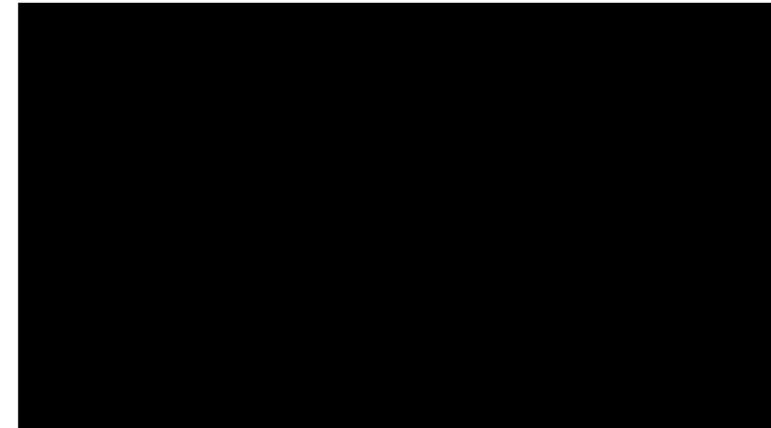
2015



2018



Active Sensing for Touch-based Object Localisation [TOSI 15]



### Approche

Assistance et semi-autonomie

- Assistanes contextuelles
- Apprentissage de trajectoires
- Détection d'intention opérateur
- Reconnaissance environnement / recalage 3D : vision / tactile
- Planification de trajectoires

### Approche

Commande en effort

- Interaction humain/robot environnement
- Mesure d'effort
- Actionnement haute performance

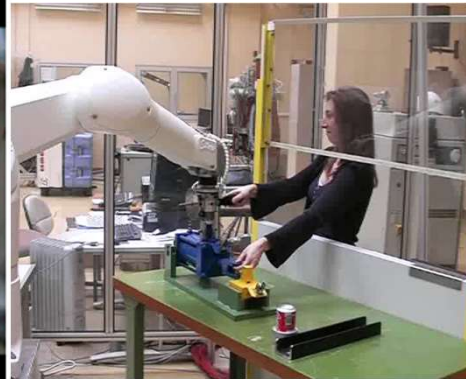
## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

### Maîtrise de l'effort: la comanipulation

2003



2009



[Lamy 09]

#### Approche

##### Commande en effort

- Interaction humain/robot environnement
- Assistances virtuelles
- Mesure d'effort
- Commande adaptative vs passivité
- Augmentation d'effort

## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

### Maîtrise de l'effort + IA : la comanipulation

2003

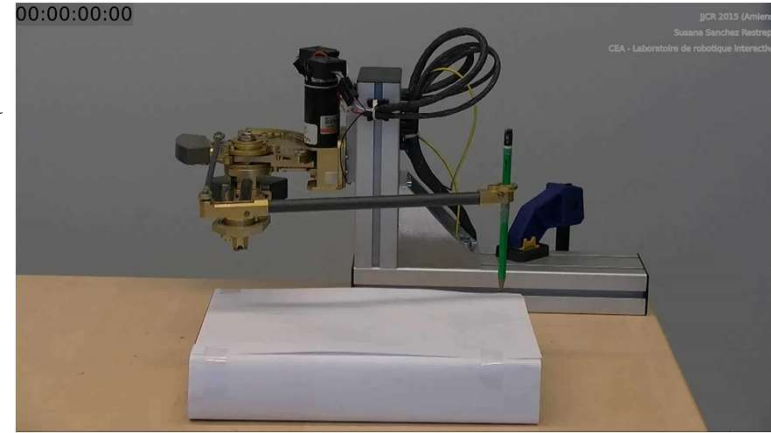
2009



Programmation intuitive



[Lamy 09]

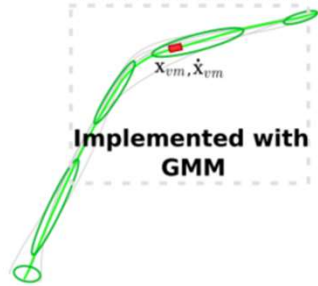


Apprentissage de trajectoires/guides virtuels – GMM [Raiola 17]

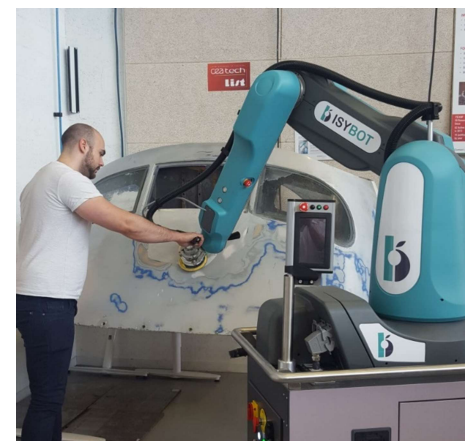
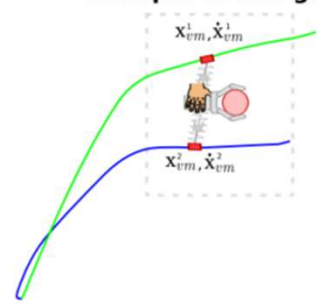
### Approche

- Interaction humain/robot environnement
- Assistances virtuelles
- Mesure d'effort
- Commande adaptative vs passivité
- Augmentation d'effort
- Programmation intuitive

#### Kinematics of virtual mechanism



#### Multiple virtual guides



## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

### Maîtrise de l'effort + IA : la comanipulation

2003

2009



Programmation intuitive & visualisation



Apprentissage de trajectoires/guides virtuels – GMM [Raiola 17][Restrepo 18]



[Lamy 2009]

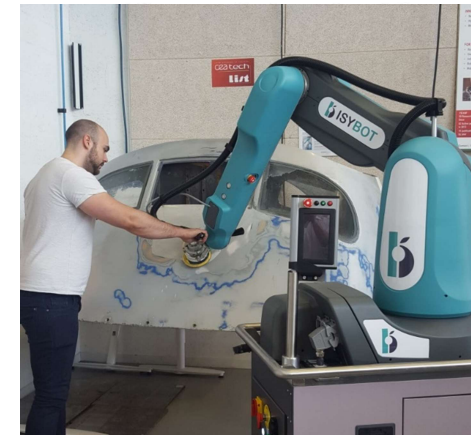
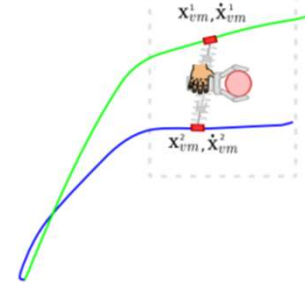
### Approche

- Interaction humain/robot environnement
- Assistances virtuelles
- Mesure d'effort
- Commande adaptative vs passivité
- Augmentation d'effort
- Programmation intuitive & visualization RA

#### Kinematics of virtual mechanism



#### Multiple virtual guides



## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

### Maîtrise de l'effort + IA : la comanipulation

2003



2009



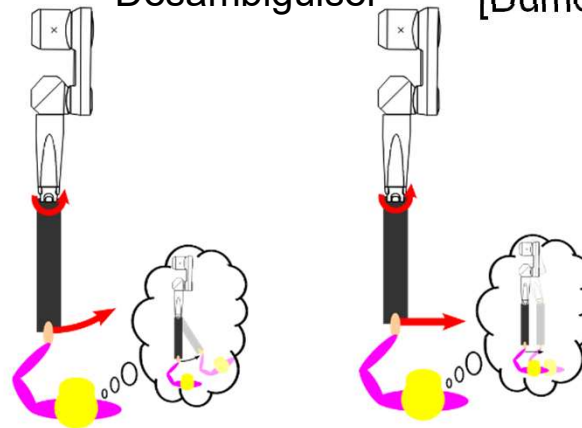
[Lamy 2009]



Apprentissage d'une librairie haptique [Dumora 14]

Communication haptique intuitive

Désambigüiser

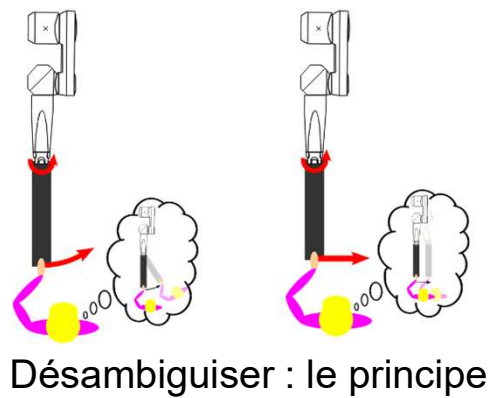


#### Approche

- Interaction humain/robot environnement
- Assistances virtuelles
- Mesure d'effort
- Commande adaptative vs passivité
- Augmentation d'effort
- Programmation intuitive & visualization RA
- Communication haptique intuitive

## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

Apprentissage d'une librairie haptique [Dumora 14] Assistance courante

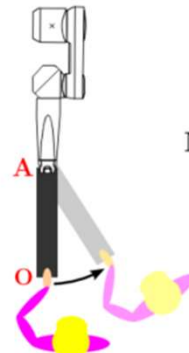


Théorèmes de Bayes :

$$P(C = C_k | \bigcap_{i=1}^n F_i = f^i) = \frac{P(C = C_k) P(\bigcap_{i=1}^n F_i = f^i | C = C_k)}{P(\bigcap_{i=1}^n F_i = f^i)}$$

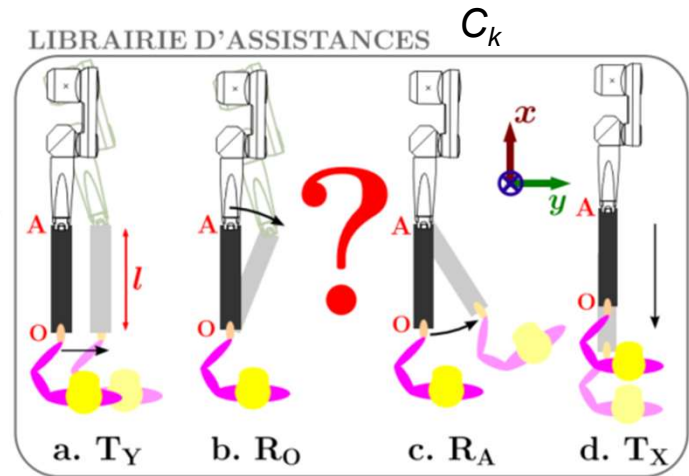
L'étape d'apprentissage consiste à estimer la vraisemblance  $P(\bigcap_{i=1}^n F_i = f^i | C = C_k)$   
 Pour cela on réalise des enregistrements d'efforts (nos variables caractéristiques) lorsque l'assistance  $C_k$  est appliquée, et on estime les paramètres de la distribution de ces efforts.

Assistance courante



Nouvelle intention de l'opérateur

Assistance suivante



+ utilisation d'un capteur d'effort 6D  $\rightarrow f^i$



## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

### Maîtrise de l'effort + IA : la comanipulation

2003

2009



[Lamy 2009]

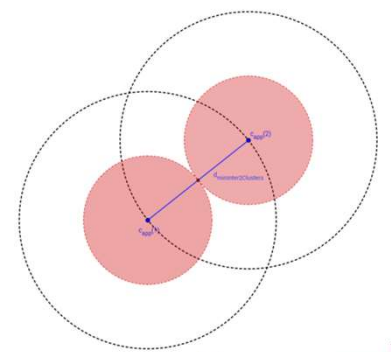
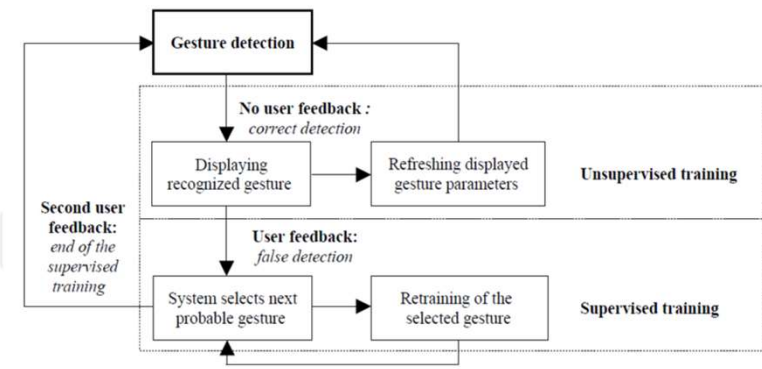


Apprentissage d'une librairie haptique pour le pilotage d'un robot (Andry 17)

### Approche

- Interaction humain/robot environnement
- Assistances virtuelles
- Mesure d'effort
- Commande adaptative vs passivité
- Augmentation d'effort
- Programmation intuitive & visualization RA
- Communication haptique intuitive
- Usage, robustesse & flexibilité

Inspiré des travaux d'Attila Licsar et de Tamas Sziranyia 05



## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

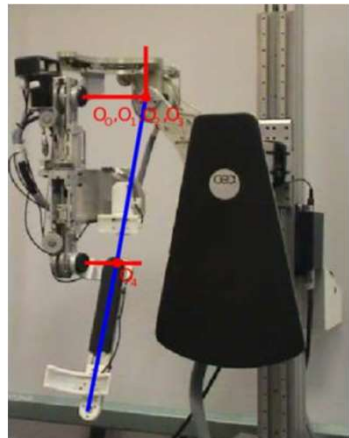
Maîtrise de l'effort : interaction poussée à l'extrême – les exosquelettes

2005

2011

2012

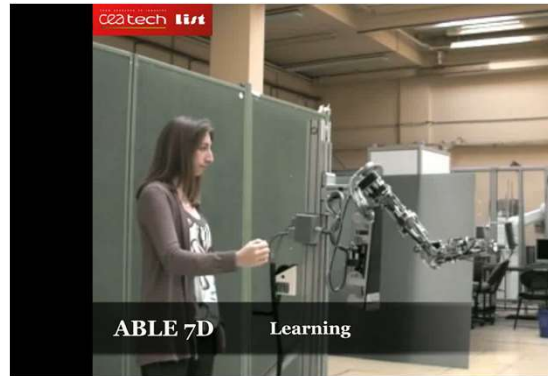
2013



ABLE4D - BRAHMA



Hercule V2 (HV2)



ABLE7D - SCALE1

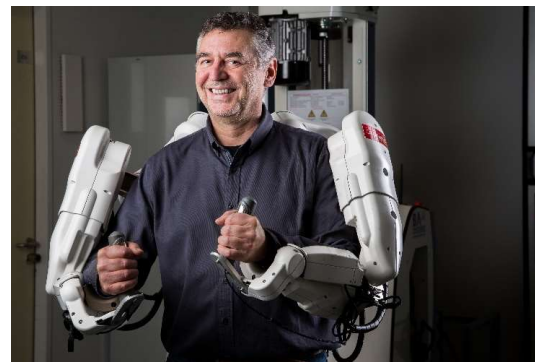


Hercule V3 (HV3)

### Approche

Commande en effort

- Interaction humain/robot environnement
- Mesure d'effort
- Actionnement haute performance



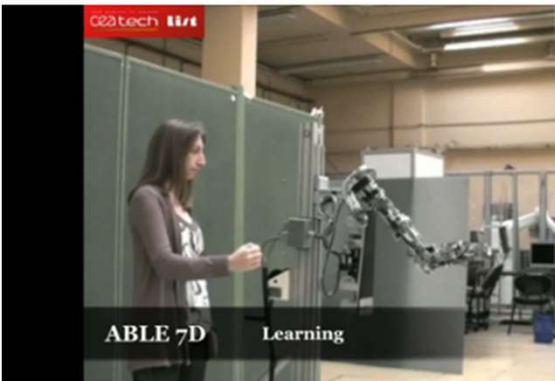
## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

Maîtrise de l'effort : interaction poussée à l'extrême – les exosquelettes

2012

2013

2016



ABLE7D – SCALE1

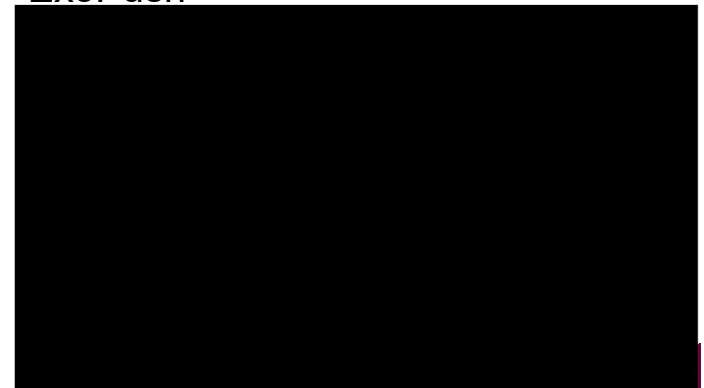


Hercule V3 (HV3)



Hercule Slim (HVSlim)

ExoPush



### Approche

Commande en effort

- Interaction humain/robot environnement
- Mesure d'effort
- Actionnement haute performance

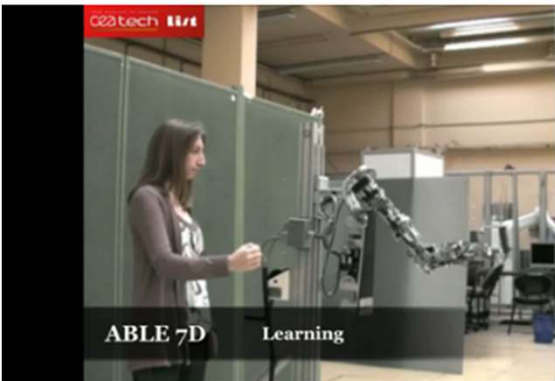
## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

Maîtrise de l'effort + IA : interaction poussée à l'extrême – les exosquelettes

2012

2013

2016



ABLE7D – SCALE1



Hercule V3 (HV3)

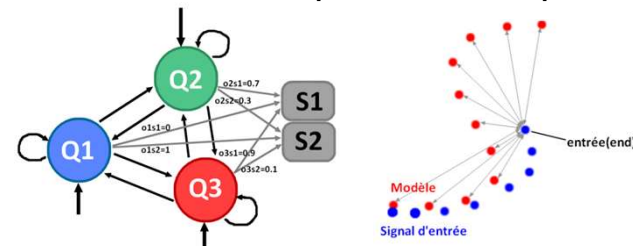


Hercule Slim (HVSlim)

### Approche

- Interaction humain/robot environnement
- Mesure d'effort
- Actionnement haute performance
- Reconnaissance précoce TR

Reconnaissance précoce des phases d'utilisation



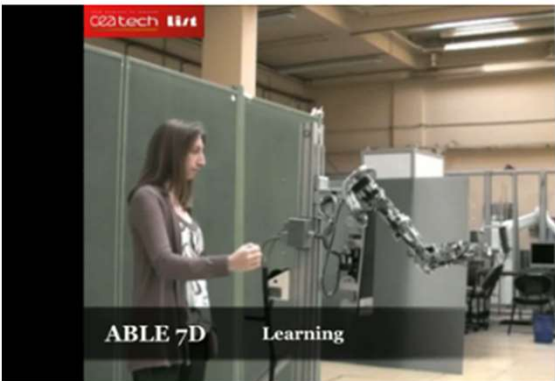
## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

Maîtrise de l'effort + IA : interaction poussée à l'extrême – les exosquelettes

2012

2013

2018



ABLE7D – SCALE1



Hercule V3 (HV3)



EMY

### Approche

- Interaction humain/robot environnement
- Mesure d'effort
- Actionnement haute performance
- Reconnaissance précoce TR
- Pilotage BCI

Contrôle exosquelette en position  
Pas d'IA robotique pour le moment : Utilisation  
mémoire patient

## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

Maîtrise de l'effort + IA : interaction poussée à l'extrême – les exosquelettes

2012

2013

2019



ABLE 7D Learning

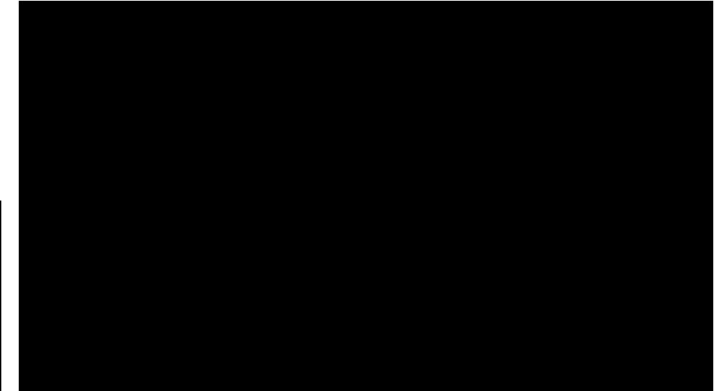
ABLE7D – SCALE1



Exosquelette : Hercule, robot porteur

FUTURE•MAG arte

Hercule V3 (HV3)

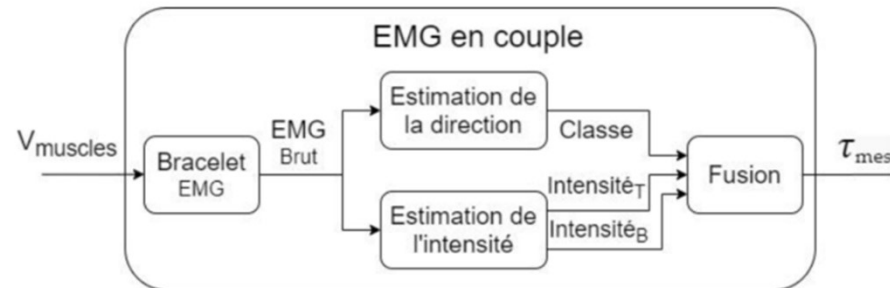


Controlling an upper-limb exoskeleton by EMG signal while carrying unknown load [Treussart 20]

### Approche

- Interaction humain/robot environnement
- Mesure d'effort
- Actionnement haute performance
- Reconnaissance précoce TR
- Pilotage BCI
- Commande EMG

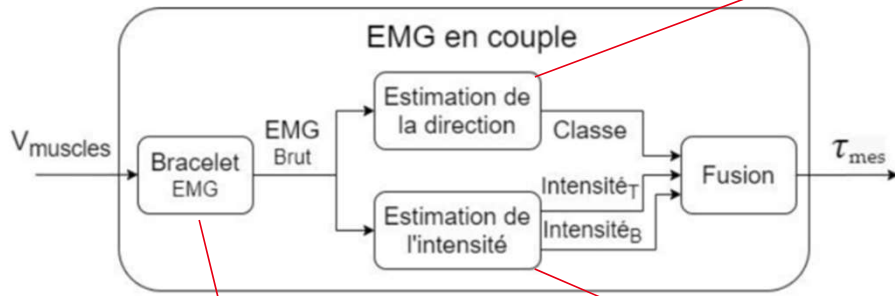
### Commande mixte:



Maîtrise de l'effort + IA : interaction poussée à l'extrême – les exosquelettes

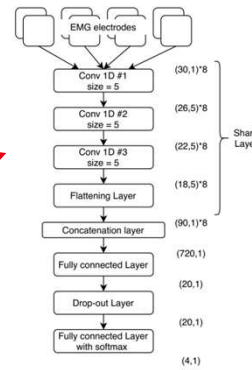
Controlling an upper-limb exoskeleton by EMG signal while carrying unknown load [Treussart 20]

Commande mixte:



Acquisition 8 signaux + filtrage

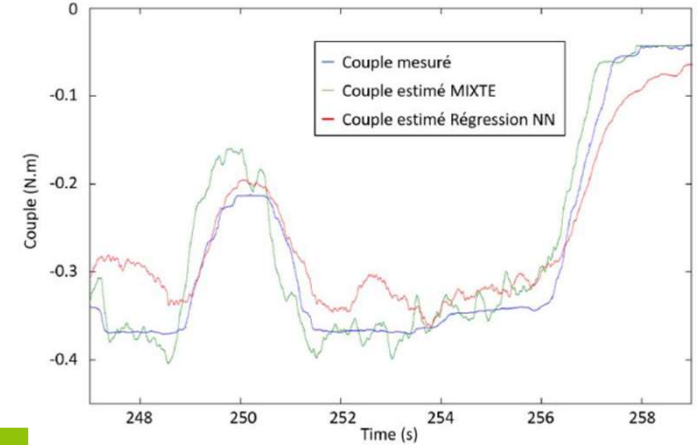
Implémentation TR Keras 3000 paramètres



modèle musculaire [Ullah and Kim 09]:

$$\tau = u^a * e^{(c-b*u)}$$

Comparaison estimation de couple avec full NN (régression) à 150000 paramètres



| Apprentissage | Temps d'enregistrement (calibration) | Temps de calcul hors-ligne | Nouvel opérateur          |
|---------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Personnel     | 2min30                               | 30sec                      | 2min30                    |
| Transfert     | 2min30                               | 10mn (20 pers.)            | 15sec (+10sec hors-ligne) |

## RECHERCHE EN ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA LIST

Maîtrise de l'effort + IA : interaction poussée à l'extrême – les exosquelettes

2012



ABLE7D – SCALE1

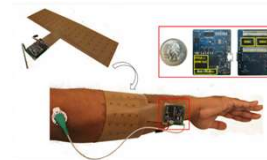
2021



Exosquelette industriel pour la rééducation post-AVC  
(RV + sEMG)



IA + sEMG



Univ. Portsmouth

### Approche

- Interaction humain/robot environnement
- Mesure d'effort
- Actionnement haute performance
- Reconnaissance précoce TR
- Pilotage BCI
- Commande EMG



## ROBOTIQUE AU CEA LIST

Robotique autonome: Cf. presentation Ashley + Clément



---

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Institut List | CEA SACLAY NANO-INNOV | BAT. 861 – PC142  
91191 Gif-sur-Yvette Cedex - FRANCE  
[www-list.cea.fr](http://www-list.cea.fr)

Établissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019