



**gipsa-lab**

Grenoble | images | parole | signal | automatique | laboratoire

# **Approche biomécanique des interactions entre les doigts pour différentes conditions de production de force**

F. Quaine\*, F. Paclet\*, F. Colloud\*\*, L. Vigouroux\*\*\*

(\*Gipsa-lab, \*\*Pprime, \*\*\*Mouvement et Perception)

[www.gipsa-lab.inpg.fr](http://www.gipsa-lab.inpg.fr)

UMR 5216



# Biomécanique.....

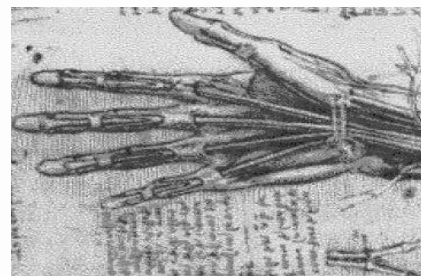
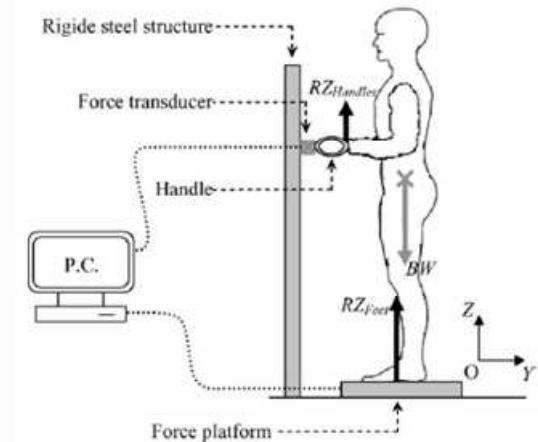
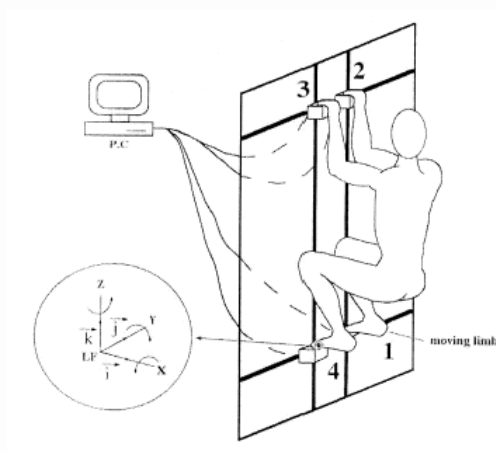
## .....Robotique human

La **biomécanique** est l'exploration des propriétés mécaniques des organismes vivants ainsi que l'analyse des principes d'ingénierie faisant fonctionner les systèmes biologiques...  
(Wikipédia !)

...ouvrir la réflexion aux domaines de la biomécanique et des neurosciences pour un enrichissement mutuel...

(GDR Robotique)

### Verrou scientifique : PROBLEME DE REDONDANCE



(De Vinci, 1452-1529)

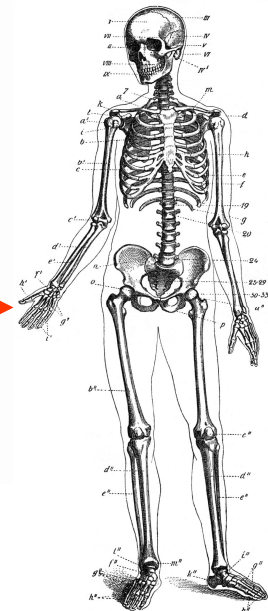
# 1) La redondance pour le Biomécanicien :

"Modéliser chaque élément physiologique par un élément mécanique équivalent"



## 1<sup>er</sup> niveau : Le squelette

- ~ 200 os
- 244 degrés de liberté



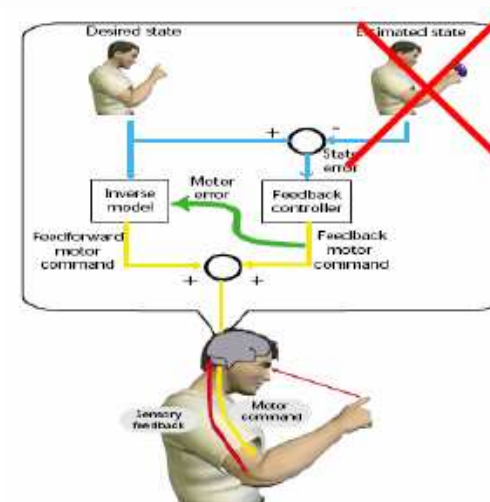
## 2<sup>ème</sup> niveau : Le muscle

- Moteur interne du corps humain
- + 600 muscles (traction)

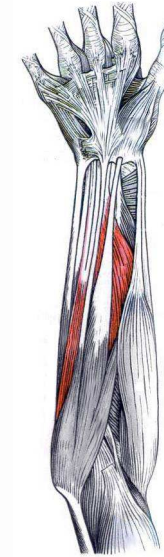
Ratio ~ 2.5

## 3<sup>ème</sup> niveau : La commande

- # entrées sensorielles
- Système Nerveux Central



## 2) Redondance et préhension (Li et al., 1997)



Le système musculo-squelettique de la main :

- 4 doigts longs (+ pouce)
- 12 articulations, 16 ddl (15 art,  $21 \pm 1$ ddl)
- 18 muscles (26) et 32 avec le poignet

Notre questionnement :

- Comprendre la distribution des forces/doigts  
(redondance digitale)
- Comprendre le recrutement musculaire associé  
(redondance musculaire)

Similarités de ces systèmes :

- Actions synergiques
- Systèmes sous déterminés

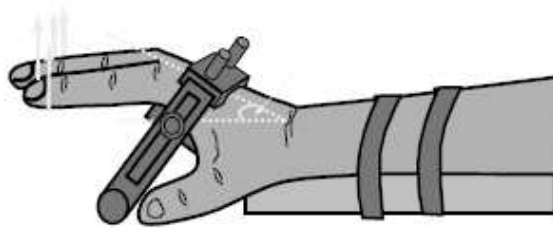
Le SNC contrôle-t-il de la même façon ces systèmes mécaniques similaires ?



Recherche d'indicateurs biomécaniques

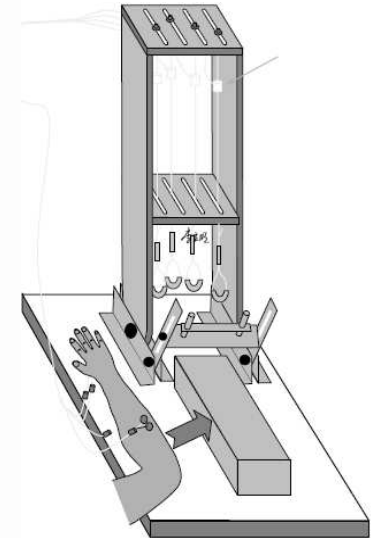
### 3) Notre démarche pour l'étude de la redondance digitale : Basée sur l'expérimentation

#### ➤ Condition de référence (arbitraire) :



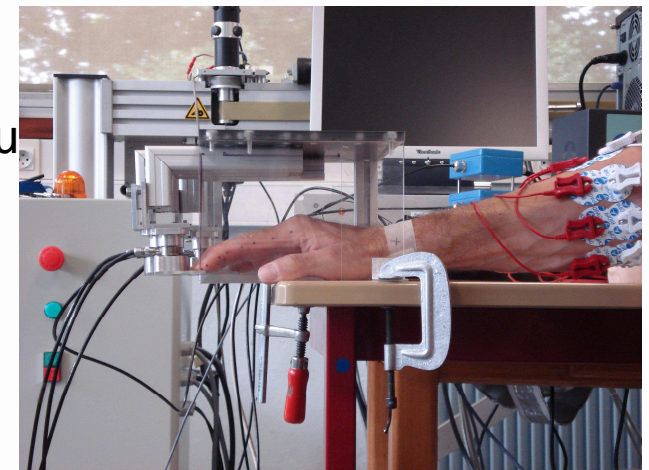
Force de traction

(Danion et al., 2000)



#### ➤ Perturbation du système :

- ≠ muscles (escalade, transfert tendineux)
- ≠ ddl au poignet
- ≠ sites
- ≠ sens de la force (flexion/extension)





## 4) Les méthodes

### □ Déficit de force

$$Fd_i = \frac{F_{i\max} - F_i^{\text{IMRL}}}{F_{i\max}} \cdot 100\%$$

### □ Modèle de partage

$$R_i = \frac{F_i^{\text{IMRL}}}{F^{\text{IMRL}}} \cdot 100\%$$

### □ Ligne neutre

$$L_{\text{In}} = \frac{\sum_i F_i^{\text{IMRL}} \cdot L_i}{F^{\text{IMRL}}}$$

Tâches

I

M

I

**30**

10

M

8

**32**

R

5

9

L

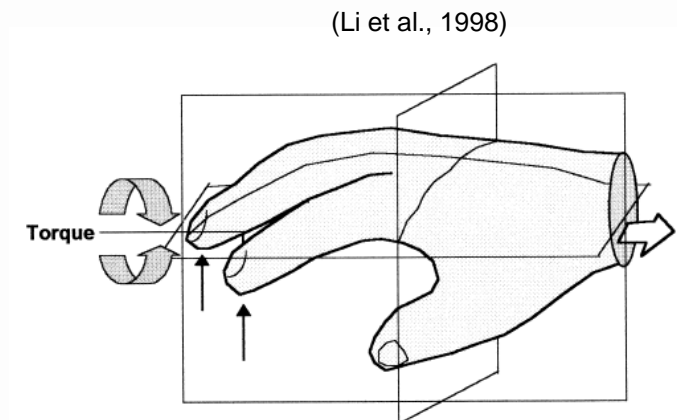
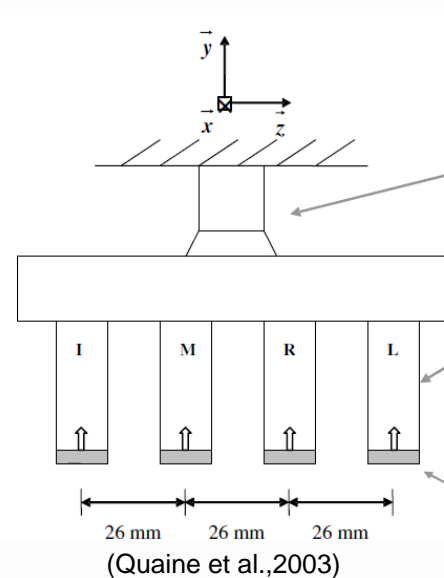
2

5

IMRL

**26**

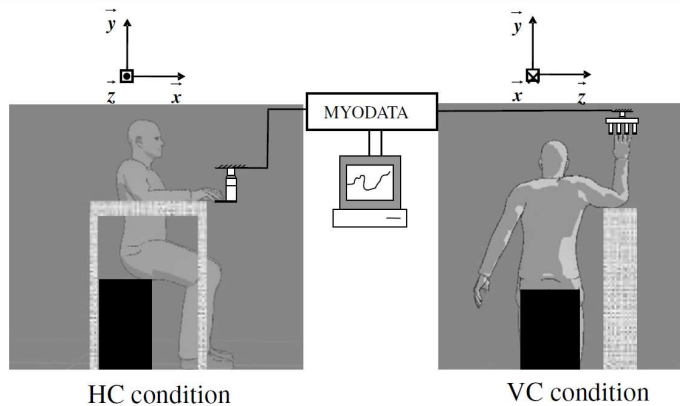
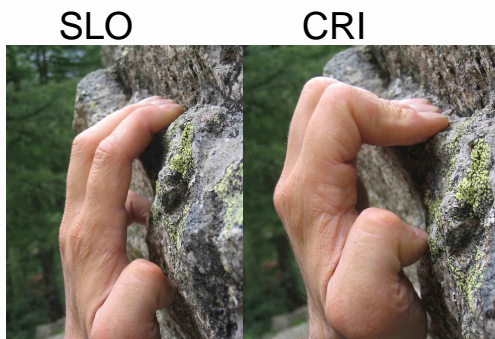
**28**



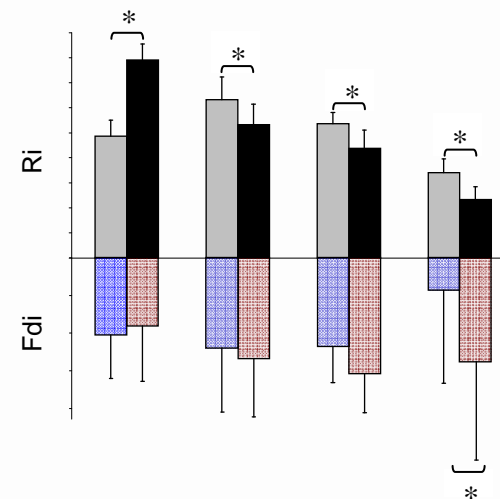
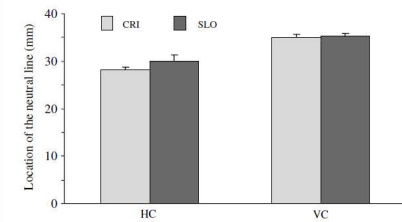
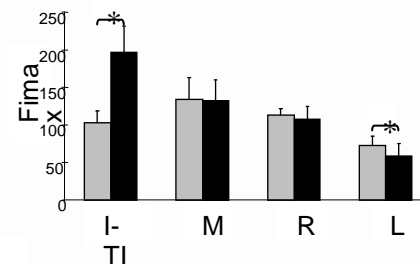
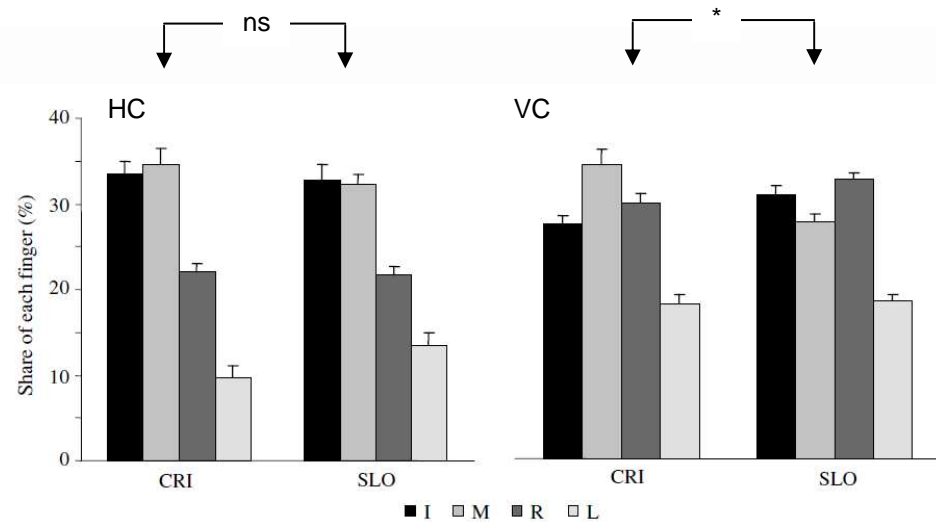
## 5) Résultats

≠ muscles

≠ ddl au poignet



(Quaine et al., 2003; Vigouroux et al., 2008)



## 5) Résultats

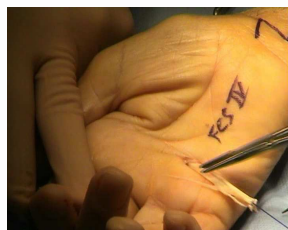
□ ≠ muscles (transfert tendineux)

2 patients (PHRC Rhône Alpes)

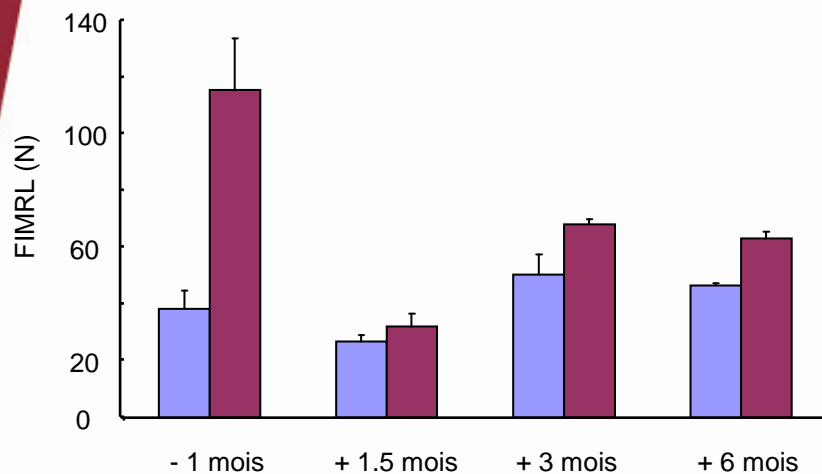
1. MK (70 ans, radiculo-myélopathie cervicale)

2. FP (25 ans, accident cascade de glace)

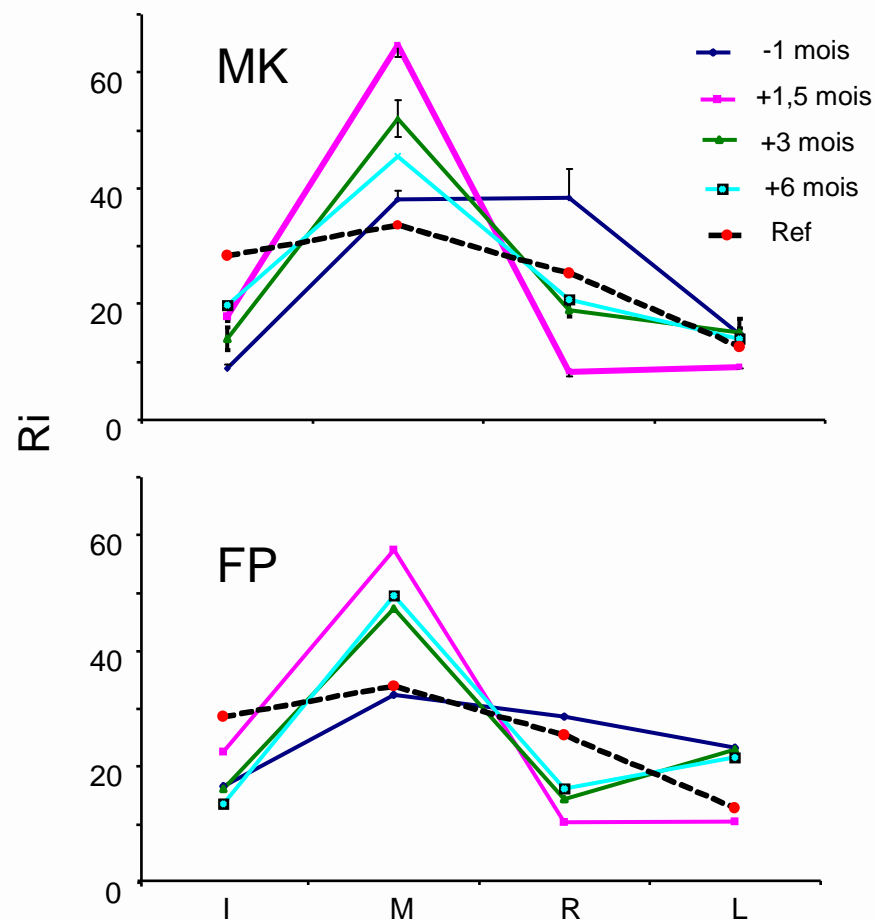
Suppression du FCS 4<sup>ème</sup> doigt  
(Schéma de Tsugé, modifiée par Moutet)



Force de flexion



□ MK  
■ FP





## 6) Discussion-Synthèse :

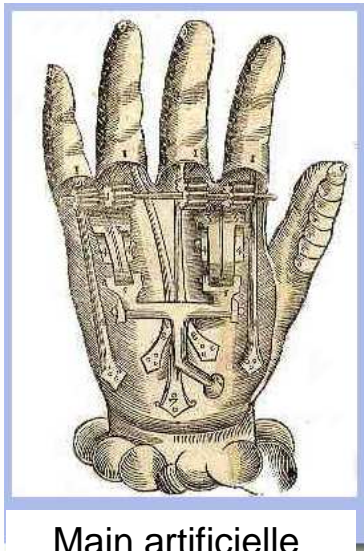
Ligne Neutre : **BON candidat biomécanique**

- proche des axes de rotation
- moments antagonistes
- minimise l'effort de stabilisation au poignet

Vision bio-inspirée de la préhension :

CNS gère les cinq doigts indépendants en relation pour s'adapter /tache

Nécessité de prendre en compte la stabilité du poignet



Main artificielle  
par Ambroise Paré

Table 1. Comparison of Human Hand, Hand Prostheses, and Robotic Hands<sup>a</sup>

	# of DoFs	Size of the hand (normalized)	# of Fingers	# of Sensors	# of Actuators	Opposable Thumb
Human Hand <sup>3</sup>	22	1	5	17'000	38	yes
MARCUS Hand <sup>5</sup>	2	1.1	3	5	2	no
Ottobock/SUVA Hand <sup>7</sup>	1 + 1	1	3	1	1	no
Utah/MIT Hand <sup>78</sup>	16	2 + control	4		32	yes
Stanford/JPL Hand <sup>79</sup>	9	1.2 + control	3		12	no
DLR Hand II <sup>80</sup>	13	1.5 + control	4	64	13	no
Robonaut Hand <sup>81</sup>	12 + 2	Astronaut gloved hand + control	5	43 + tactile	14	yes

(Zeca et al., 2002)

Merci pour votre attention !!

