

Technologies avancées d'Assistance ou de Suppléance de la déficience motrice chez la personne lésée médullaire

Charles Fattal

Centre Bouffard-Vercelli USSAP Perpignan 66

Laboratoire CAMIN INRIA

Association APPROCHE

Classification Robotique d'Assistance ou de Suppléance

1. ROBOTIQUE D'ASSISTANCE A LA MANIPULATION

- 1.1 Stations de travail
- 1.2 Robots mono tâche fixes
- 1.3 Bras manipulateurs sur fauteuil roulant
- 1.4 Bras manipulateurs sur base mobile
- 1.5 Neuroprothèses, prothèses et exosquelettes du membre supérieur robotisées
- 1.6 Robots chargeurs de fauteuils roulants

2. ROBOTIQUE D'ASSISTANCE DOMESTIQUE

- 2.1 Robotique de service mono tâche
 - 2.1.1 Robots aspirateur
 - 2.1.2 Robots nettoyeur
 - 2.1.3 Robots tondeuse
 - 2.1.4 Autres robots
- 2.2 Robotique de service multi-tâches, humanoïde et androïde

3. ROBOTIQUE D'ASSISTANCE RELATIONNELLE ou ROBOTIQUE SOCIALE

- 3.1 Robots compagnon / télésurveillance
- 3.2 Robots d'éveil sensoriel (robots cognitifs)

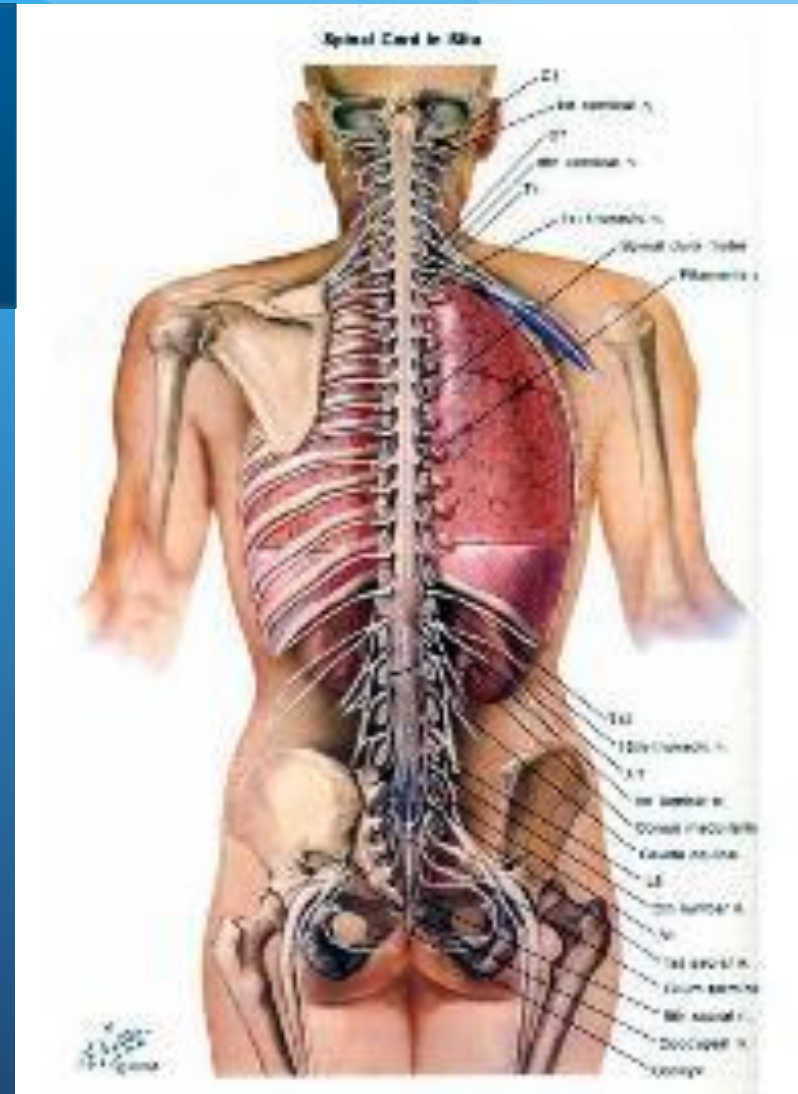
4. ROBOTIQUE D'ASSISTANCE AU DEPLACEMENT

- 4.1 Exosquelettes des membres inférieurs
- 4.2 Neuro-prothèses et prothèses membre inférieur robotisées
- 4.3 Robots d'aide aux déplacements
- 4.4 Robots d'aide aux aidants pour les déplacements

5. ROBOTIQUE D'ASSISTANCE A LA REEDUCATION

- 5.1 Robotique de rééducation des membres inférieurs
- 5.2 Robotique de rééducation des membres supérieurs

Modèle : La lésion médullaire



Le Système Nerveux Central

Encéphale

Cerveau (80%)

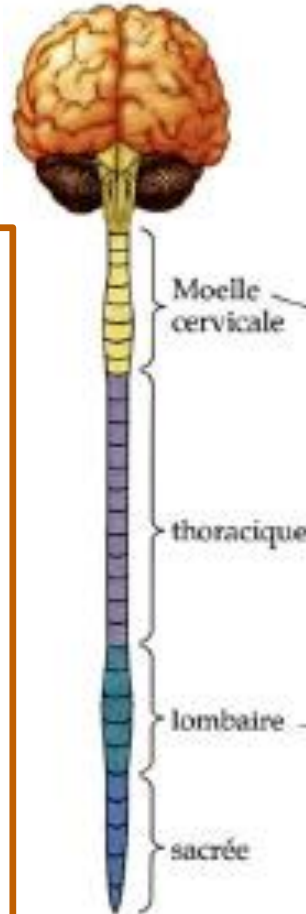
- + Tronc Cérébral + Cervelet
- + Diencephale

Activités liées à la vie psychique et intellectuelle

Mémoire
Pensée
Emotions...

Activités de contrôle et de régulation

Moelle Épineière



Voies de passage
ascendant ou descendant

Activités d'intégration
(coordination de réflexes)

Systeme Nerveux Périphérique

SN Somatique

Nfs périphériques

=

Nfs rachidiens

Nfs Crâniens

Nfs Extra crâniens

SN Autonome SNA
(dit végétatif)

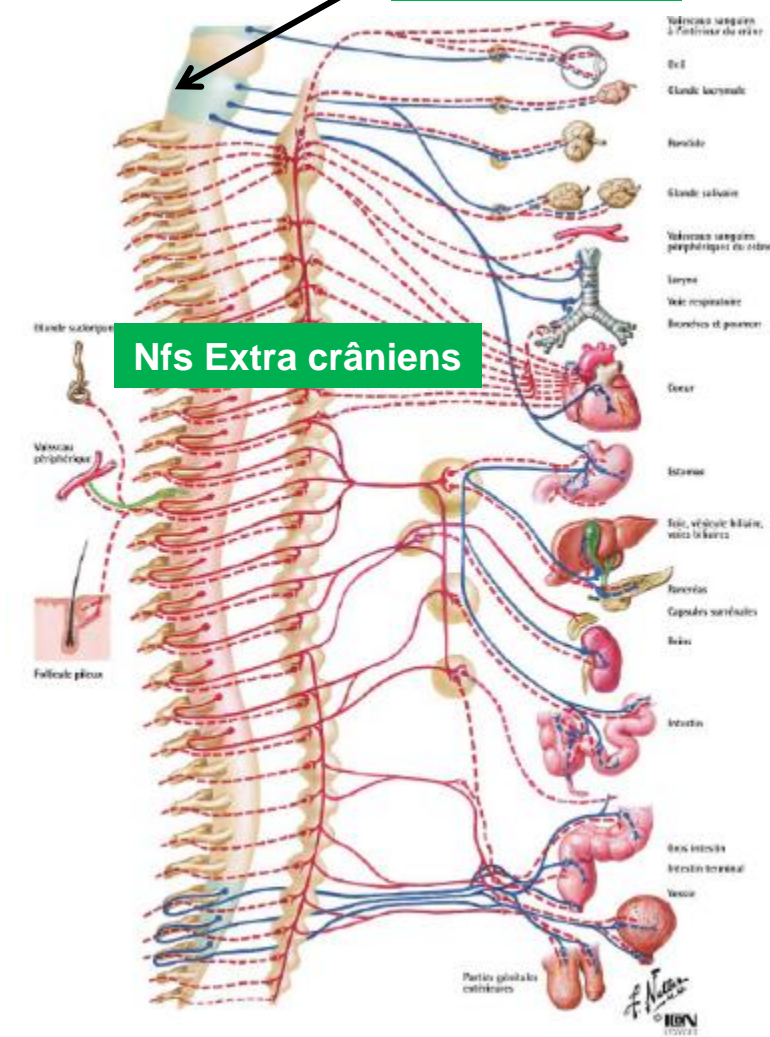
SN Sympathique

SN Parasympathique



Viscères

Régulation de l'Homéostasie



Système sympathique:

**domine en cas d'urgence,
danger ou stress**

Prépare l'organisme à affronter
ces situations

Active des organes pouvant fournir
rapidement de l'E (cœur,
poumons etc.)

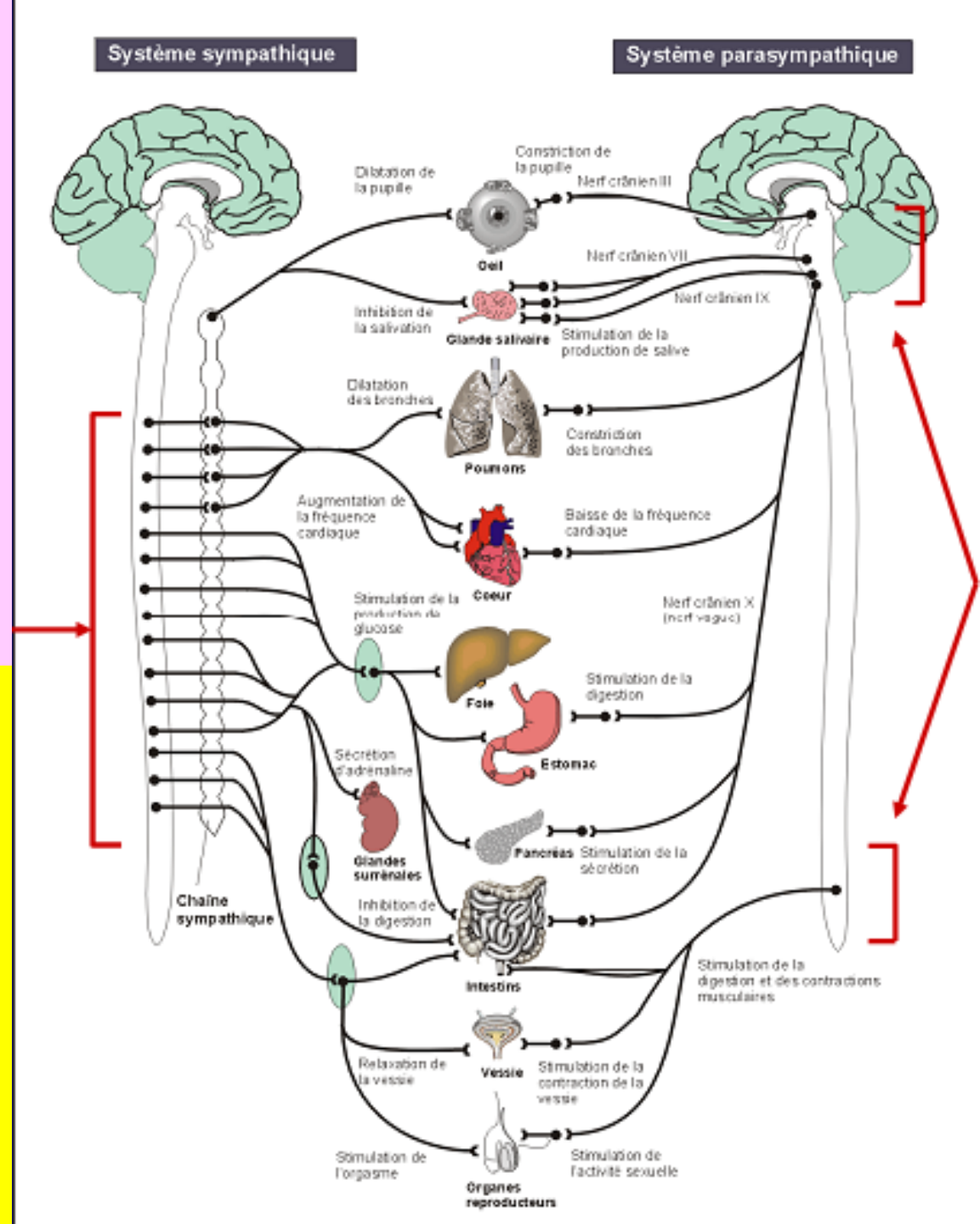
Réduit l'activité de tous les autres
organes non nécessaires dans
l'immédiat

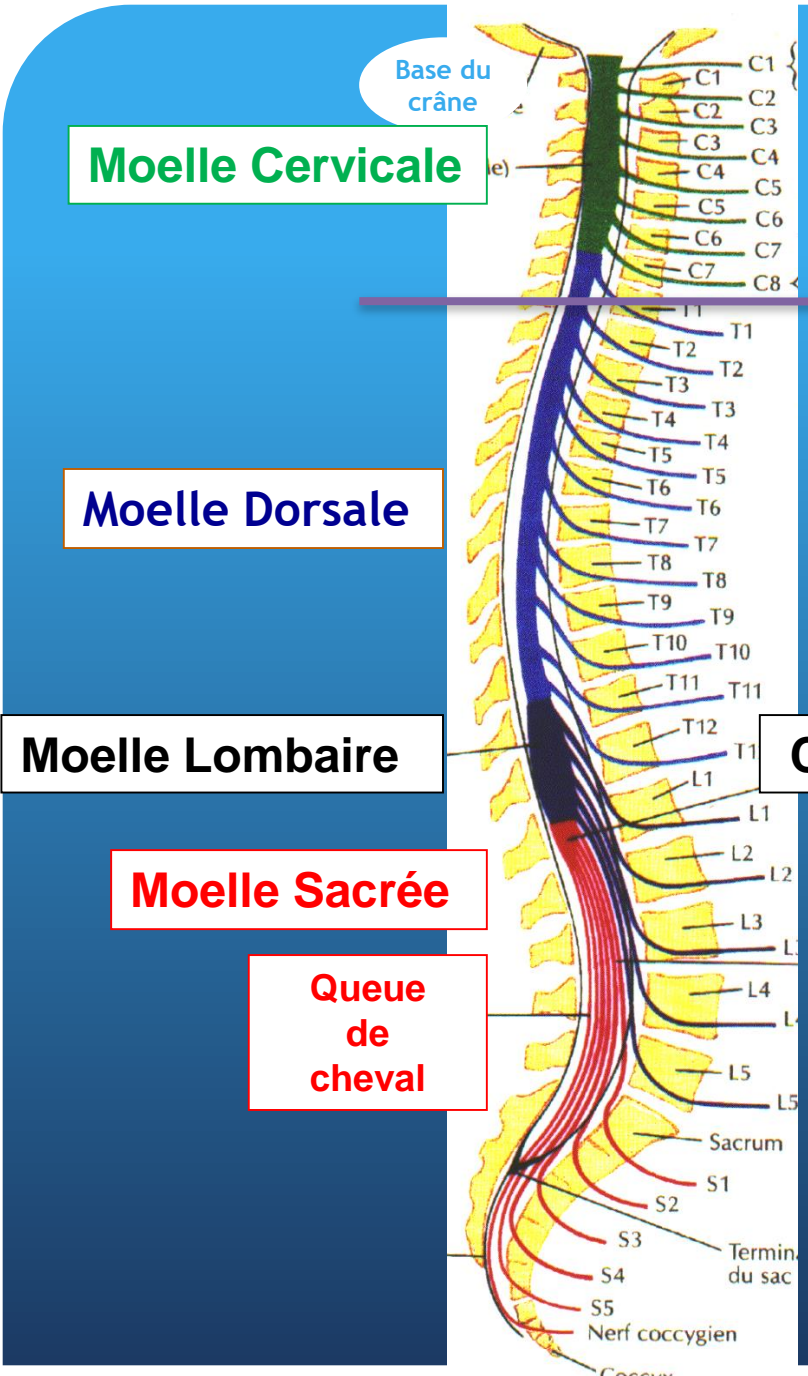
Système parasympathique:

**domine légèrement au repos
hors menace**

Active des organes nécessaires à
l'entretien et réparation de
l'organisme (org viscéraux)

Réduit l'activité de tous les autres
organes consommant de l'E





TETRAPLEGIE

lésion \geq T1

PARAPLEGIE

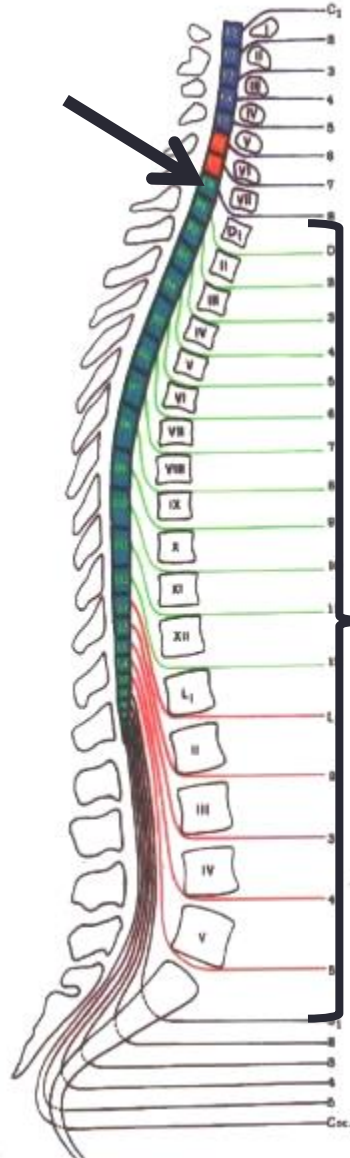
lésion \leq T2

T= niveau thoracique

La lésion médullaire : une lésion à 2 niveaux d'expression neurologique différente

Niveau(x) lésionnel(s)

Niveaux sous lésionnels



Symptômes moteurs et sensitifs directement liés au niveau(x) lésionnel(s)

Activité réflexe sous-lésionnelle

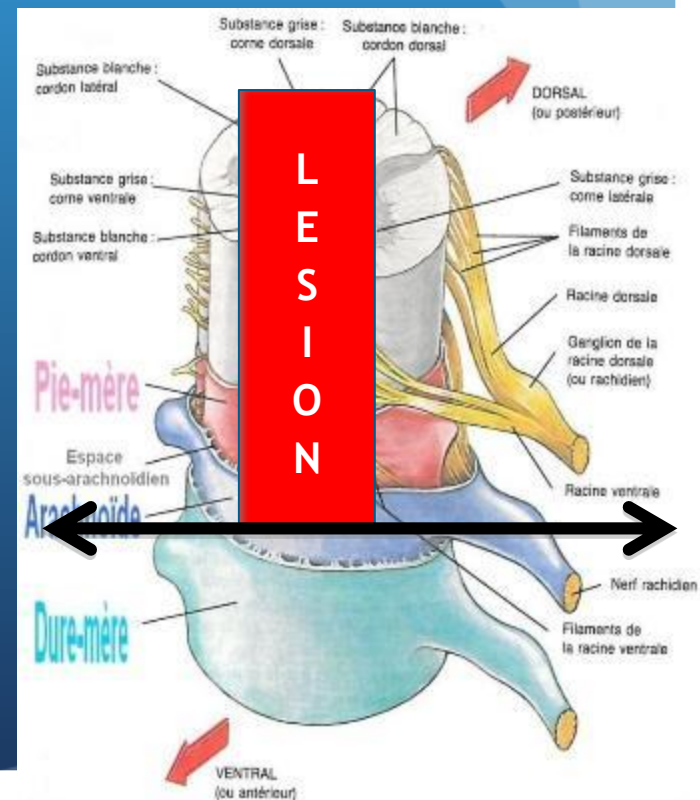
Syndrome lésionnel :

Expression clinique de la lésion médullaire et/ou radiculaire

◆ déficit moteur de nature périphérique

- amyotrophie,
- aréflexie,
- muscle non stimuable par stim électrique

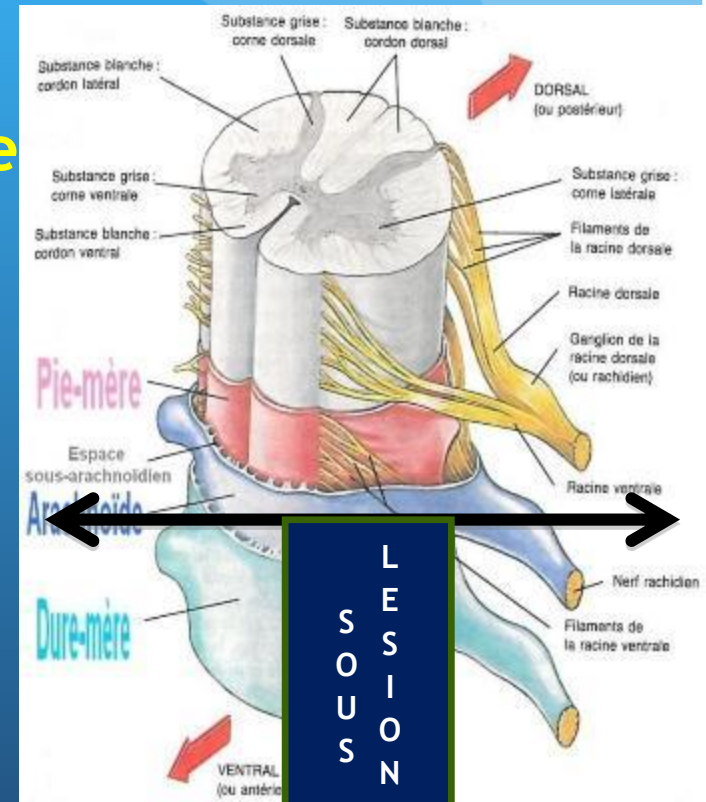
◆ déficit sensitif (anesthésie)



Syndrome sous lésionnel:

Expression clinique du fonctionnement automatique sous lésionnel

- ◆ **déficit moteur de nature centrale**
pas d'amyotrophie,
réflexes vifs, diffusés, polycinétiques,
spasticité et spasmes
muscles « stimulables » par stim élec
- ◆ troubles sensitif, neurovégétatif,
respiratoire, vésico-sphinctérien,
ano-rectal et génito sexuel ...



Lésion médullaire: une pathologie multi systémique

Complications

- Déficit des muscles respiratoire (incluant le diaphragme si le niveau lésionnel \geq C4)
- Perte de l'alarme sensitive
- Dysfonctionnement vésico-sphinctérien
- ↓ Péristaltisme intestinal
- ↓ Capacités érectiles
- Désadaptation du SNA

Comorbidités

- Risque cardiovasculaire
- Risque respiratoire
- Risque infectieux
- Risque cutanéotrophique
- Risque thrombo-embolique
- Risque psycho-social

Phase aiguë: Survie

Phase chronique: Qualité de vie

Réalités épidémiologiques de la lésion médullaire traumatique

En France : **Enquête Tetrafigap 2000**

Incidence : 19,4/ M d'habitants de plus de 15 ans /an

Tétraplégie + Paraplégie : < 1000 cas / an

<i>Tétraplegie</i>	-	<i>Paraplégie</i>	-	<i>Autre</i>
43.3%	-	46.6%	-	0.1%

Prévalence BM / d'Hbts

Comparaison par pays

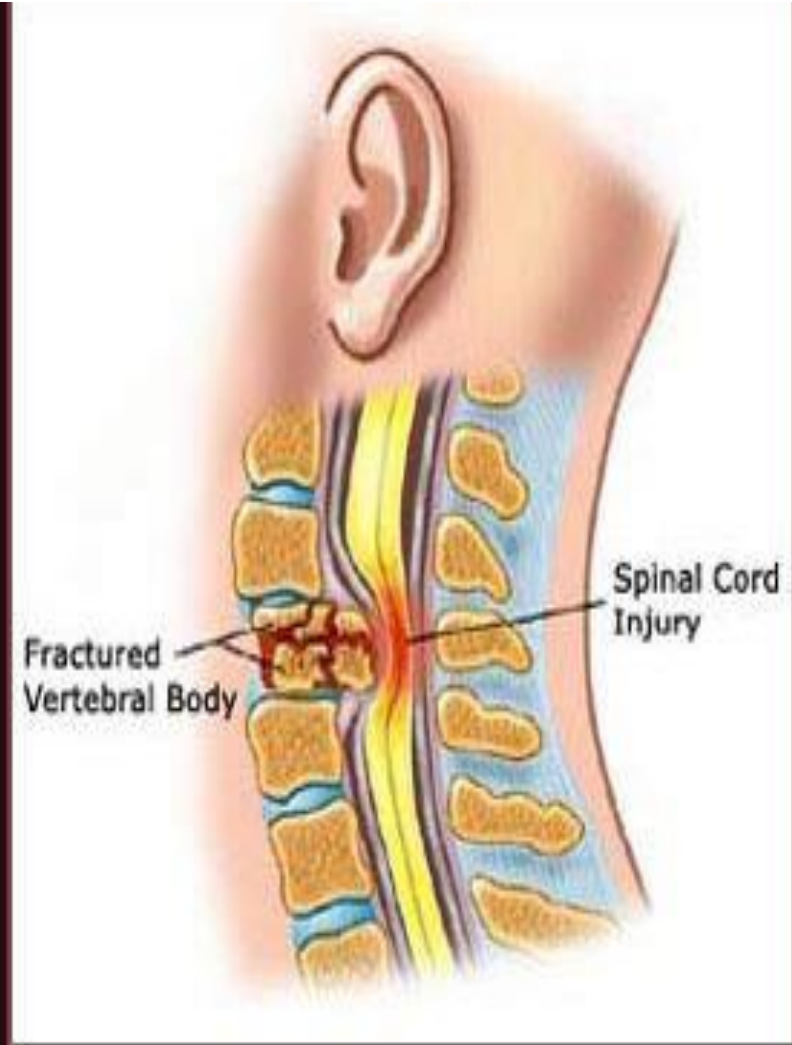
Données entre 1997 et 2010 suivant les pays

France	Etats Unis	Suède	Norvège	Finlande	Australie	Canada
?	721	227	365	280	681	1289

Prévalence: 250 cas ?/ million d'habitants

Singh 2014 Clinical epidemiology

Les étiologies traumatiques



Les étiologies traumatiques

■ Traumatismes fermés

Dans la population tout venant ++

AVP (voiture, 2 roues, piétons): 45-50% →

Accident de travail 9% Suicide 1 à 2%



■ Traumatismes fermés

Chez Personnes âgés +++ (2^{ème} cause) ↑

Chute/ Accidents domestiques: 16,5% années 70

23,8% années 2000

30% aujourd'hui



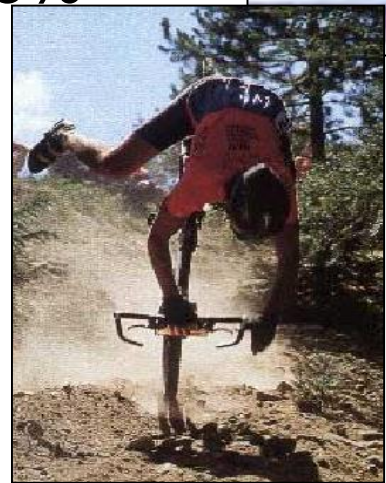
■ Traumatismes fermés

chez les + jeunes



Accidents de sport (plongeon, équitation, ski, rugby, parapente, VTT....) : 12 à 15%

Agression: 2 à 5%



■ Traumatismes ouverts

plaies par balles ou armes blanches



1. Les étiologies médicales (50 %) ↑ ↑



lésés médullaires

2. Les étiologies traumatiques (50 %)



blessés médullaires

Etude italienne (Arch Phys Med Rehab 2004) à l'exclusion Sep, maladies dégénératives, métastases

- Proportion de Lésions Médullaires Non Traumatiques I=26.1%
- Etiologie: Inflammatoire 19.5%, vasculaire 25%, tumorales 25%, sténose canalaire 18.6%, autres 11.8%
- Pronostic lié à la maladie causale
- Même philosophie de prise en charge avec spécificités (âge, état général, etc.=)

Les profils des BM d'aujourd'hui et demain

- ➔ Age moyen des niveaux BM
- ➔ C1-C4
- ➔ Lésions incomplètes
- ➔ Patients dépendants d'un respirateur
- ➔ Nombre de patients nécessitant une institutionnalisation
- ➔ Prévalence chez les sujets > 65 ans
- ➔ Chute: 2^{ème} étiologie après les accidents de voiture

Lésion médullaire cervicale SCI TETRAPLEGIE



➔ Incidence des tétraplégies hautes

(C1-C4) : **54%**

(C5-C6) : **44%**

(C7-C8) : 2%

➔ Nombre de patients dépendant d'un respirateur

De Vivo 2011 APMR



		Tétraplégie Haute		Tétraplégie Moyenne	Tétraplégie Basse
Niveau de la tétraplégie	Niveau neurologique	C4	C5	C6	C7
	Muscles résiduels actifs aux membres supérieurs	Aucun	Muscles de l'épaule Fléchisseurs du coude	Les précédents + Muscles Radiaux	Les précédents + Triceps Muscles extrinsèques de la main
	Score de Giens	0	0-1-2	3-4	≥5
Niveau d'aptitudes manuelles	Préhension ténodèse	impossible	impossible	possible	possible
	Préhension active	impossible	impossible	impossible	impossible
Niveau de dépendance	Toilette / habillage	total	total	partiel	partiel (selon les cas)
	Prise alimentaire	total	partiel	partiel	Pas de dépendance
	Déplacement	FRE à commande extra-manuelle (mentonnière ou occipitale)	FRE à commande manuelle	FRM de préférence motorisé	FRM
	Transfert	impossible	impossible	possible ± aidé d'aides techniques ou humaines	possible
	Verticalisation	FRV ou Appareil de verticalisation aidé de 2 personnes	FRV ou Appareil de verticalisation aidé de 1 personne	FRV ou Appareil de verticalisation sans aide	FRV ou Appareil de verticalisation sans aide

74 patients tétraplégiques

Priorités de récupération

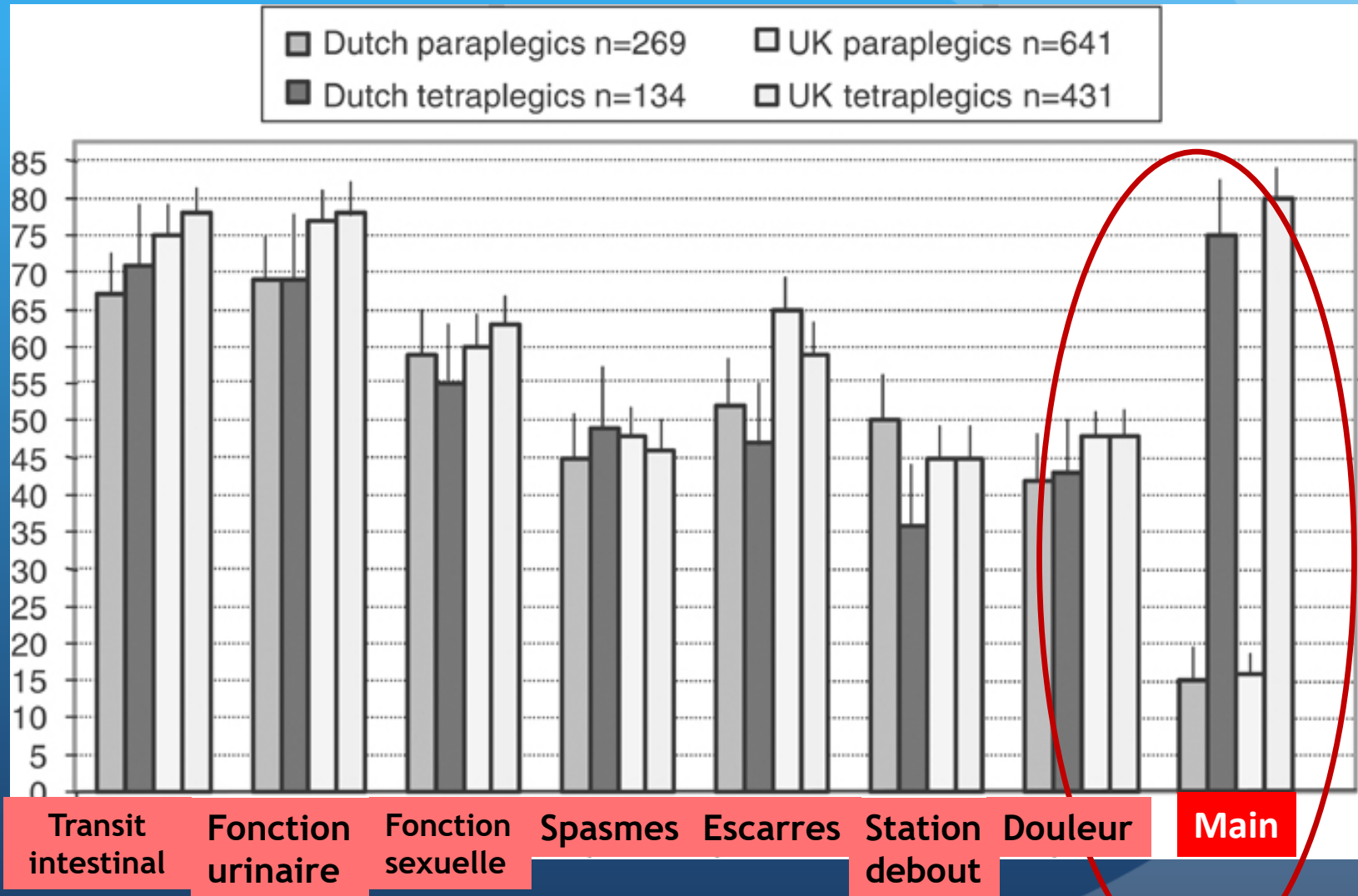
1. Aptitudes gestuelles (75%)
2. Contrôle sphinctérien urinaire et fécal
3. Station debout et marche
4. Fonction génitosexuelle

Hanson et al. Arch of Phys Med Rehabil 1976

565 TETRAPLEGIQUES / 910 PARAPLEGIQUES

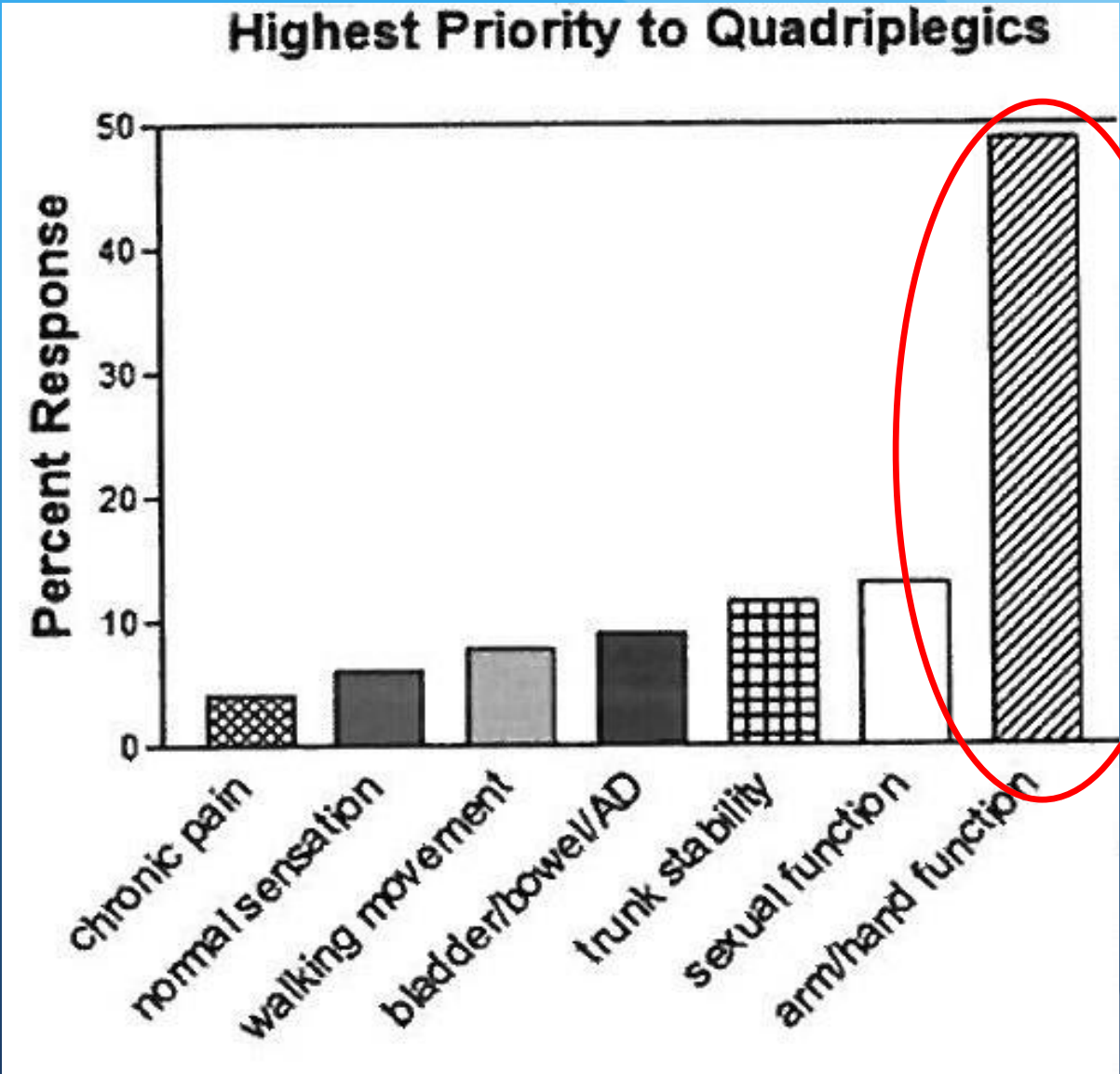
M: 68.5% Age moyen: 43 ans / Intervalle de temps depuis l'accident: 14.8 ans

Snoek et al. Spinal Cord 2004



Priorités des lésés médullaires : 681 blessés médullaires

51% Tetra



Anderson KD, Journal of Neurotrauma 2004

- Sujet confiné au fauteuil roulant
- Sujet marqué par un déséquilibre du tronc \pm important
- Sujet marqué par des phénomènes neurologiques parasites (spasticité, spasmes, douleurs neuropathiques)
- Sujet marqué par des limitations et/ou douleurs articulaires (épaules, coudes, poignet)

La Robotique: de quelle technologie parle-t-on ?



Le terme **robot**

Pièce de théâtre R.U.R. 1920-1921

(Rossum's Universal Robot) Karel Capek

En russe et bulgare dérivé du mot robota : **travail**

En slovaque dérivé du mot rabôta : **servage**

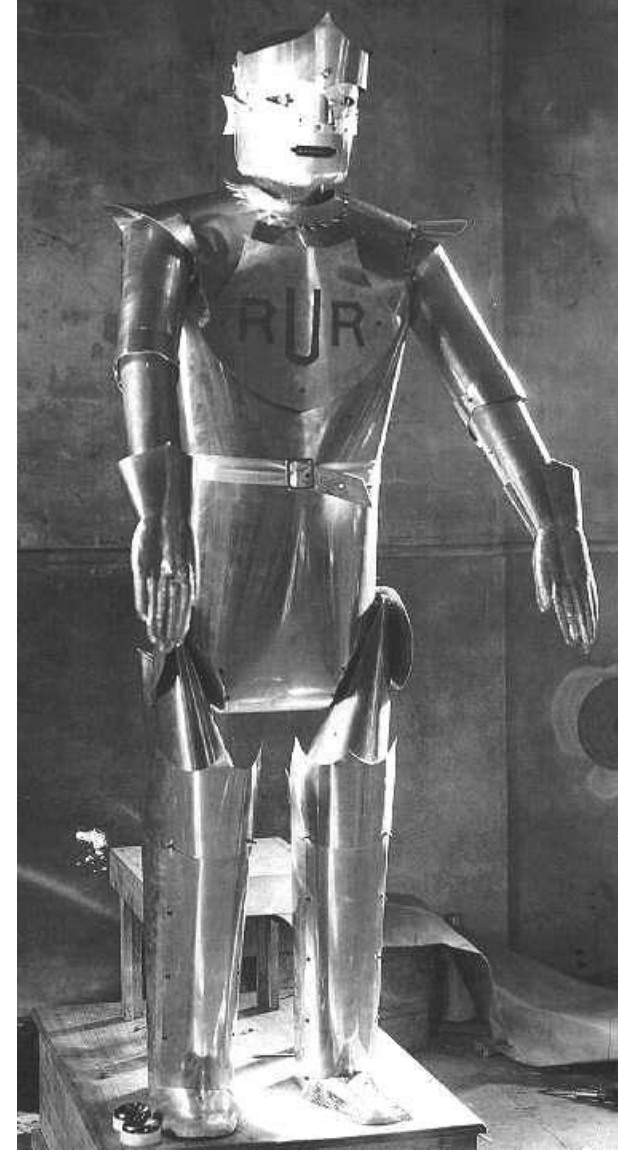
En allemand au XIXe siècle: **travail, corvée, servage**



**IMAGINAIRE
COLLECTIF**

INTELLIGENCE

POUVOIR

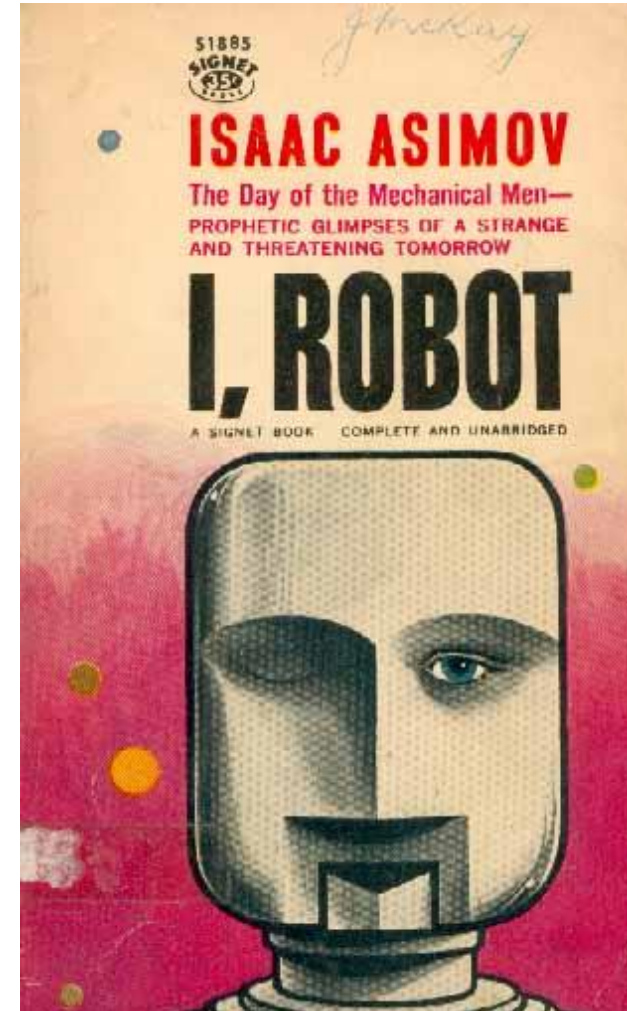


De Capek à Isaac Asimov 1920-1992

du Robot destructeur au Robot salvateur

En se basant sur l'Intelligence artificielle naissante, Asimov présente les 3 règles de la Robotique, devenues universelles pour réguler le comportement des robots:

1. Un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni, en restant inactif, laisser cet être humain exposé au danger.
2. Un robot doit obéir aux ordres donnés par les êtres humains, sauf si de tels ordres sont en contradiction avec la Première Loi.
3. Un robot doit protéger sa propre existence dans la mesure où cette protection n'est pas en contradiction avec la 1^{ère} ou la 2^{ème} Loi de la Robotique.



Définitions d'un Robot

1. Définition d'un robot *industriel* par la JIRA (Association Japonaise de Robotique Industrielle)
2. Définition d'un robot *industriel* par la RIA (Robot Institute of America)
3. Définition de l'ISO (International Standard Organization = normalisation)
4. Définition de l'AFRI (Asso. Française de Robotique Industrielle) - France

Mots clés

Tâches

Fonctions répétitives

Fonctions difficiles

Programmation

Plusieurs degrés de liberté

Adaptabilité

Environnement

Système de Communication: ordres

*Joystick
Clavier, etc.*

Système de Décision: algorithmes de traitement de l'info et Intelligence Artificielle

Système de Commande

Capteurs
proprioceptifs

Structure Mécanique

Actionneurs

ROBOT

Informations
extéroceptives

ENVIRONNEMENT

La Robotique d'Assistance

Homme versus Robot

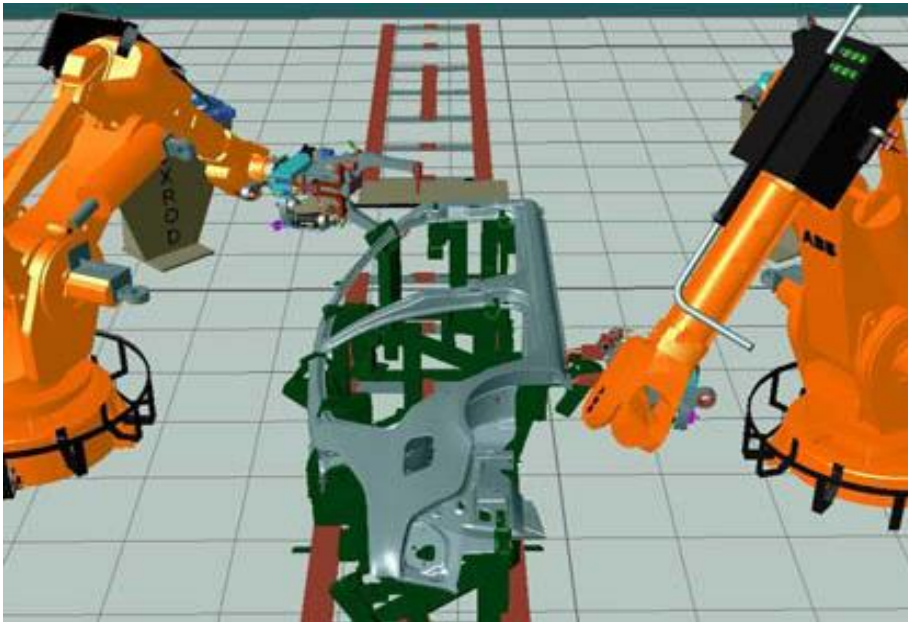
Chez l'Homme

- **Adaptation** motrice
- **Interaction** avec l'environnement
- Développement de **stratégies d'action**
- **Perception fine** des objets manipulés

Robotique industrielle

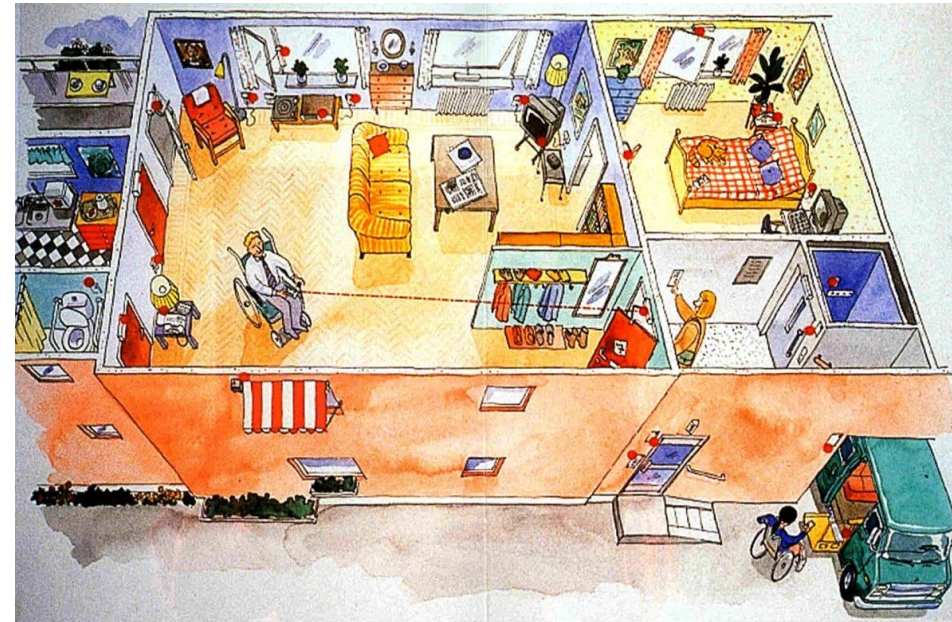
Nature & Position des objets ≠
Nature de la tâche ≠
Espaces de travail ≠

Robotique d'assistance



ENVIRONNEMENT
STRUCTURE

FONCTION



FONCTION
+ MOBILITÉ

ENVIRONNEMENT
NON STRUCTURE

L'homme et le robot partagent le même espace, sans séparation

Interface H-Machine

≠ pour chaque utilisateur

Interface Homme-Machine

Exigence de Diversité / Versatilité / Adaptabilité de l'interface (Unimodale / Multimodale)

Voix - Toucher - Main - Vue - Ouïe – Souffle - Langue - BCI

Exigences qualitatives

- Intuitive
- Conviviale
- Apprentissage facile

Exigence d'opérabilité

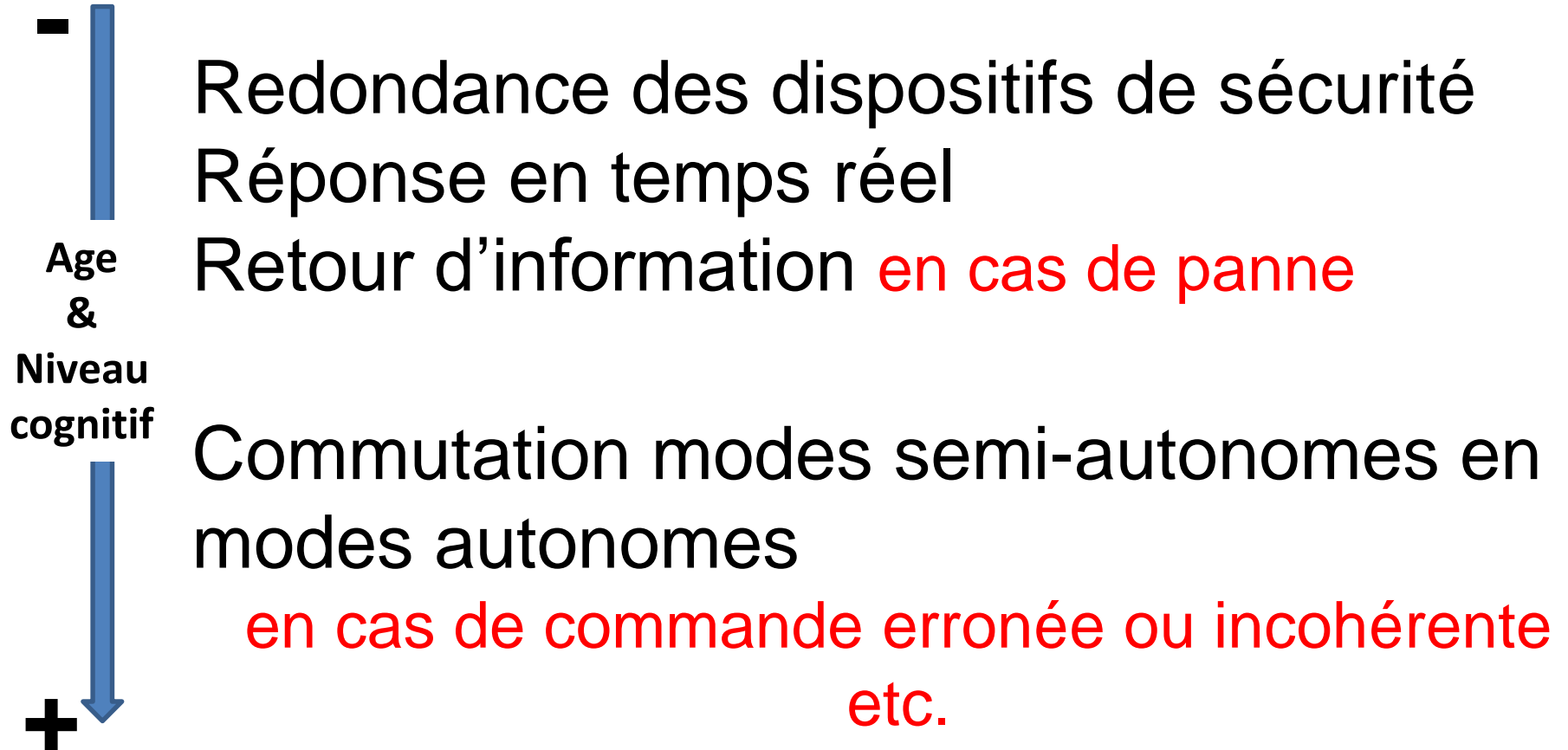
- Manuelle directe
- Semi-automatique
- Automatique



3 modes d'opérabilité

- *Manuelle*: L'utilisateur pilote le système
- *Automatique*: L'utilisateur choisit la mission, le robot la réalise
- *Partagée ou Semi-Automatique*: L'utilisateur et le robot coopèrent pour réaliser la mission

Niveaux de sécurité /Niveaux « d'intelligence »



Enjeux démographiques liés au

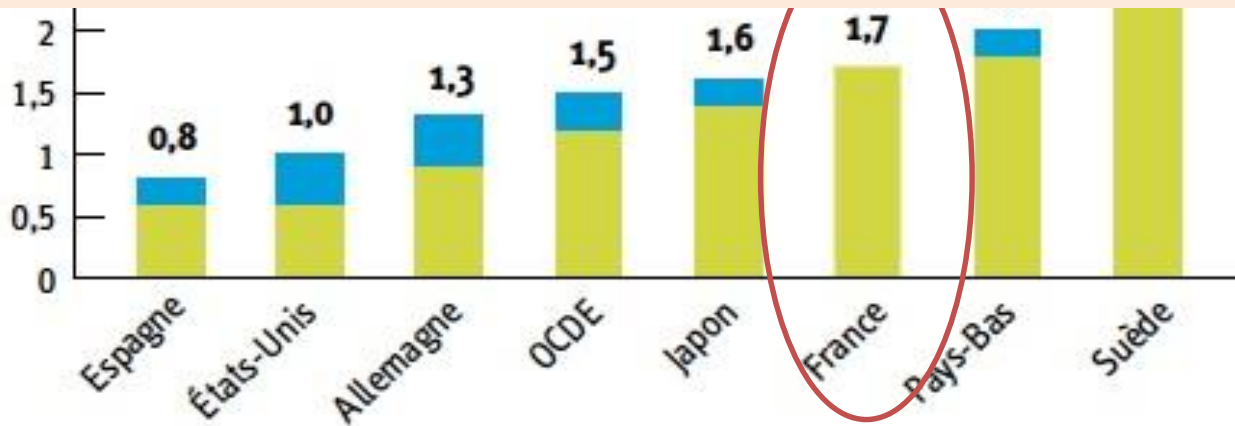
- vieillissement de la population générale
- vieillissement de la population en situation de handicap

Réalités économiques

Les métiers de service à la personne

Le coût annuel de la compensation de la perte

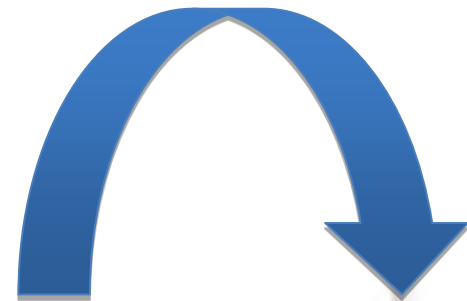
- Coût financier de l'institutionnalisation
- Effets de la crise sur le pouvoir d'achat des AT
- Carence de main-d'œuvre



85% des dépenses incombent au coût des aidants professionnels (formation et emploi)

Aidants familiaux

- Le partenaire : 48%
- Un des enfants (fille): 43%
- > 6 h/j consacrées à la personne
- 22% affirment laisser leur propre santé en arrière plan
- 40% des aidants ne partent jamais en vacances
- 75% ressentent une fatigue morale et du stress
- 50% ressentent une grande fatigue physique



Burnout

Aidants professionnels



- Souvent seuls face à des réalités difficiles
- Souvent vécus par les aidants familiaux ou les personnes comme intrusives
- Défaut de coordination et de communication entre les aidants
- Métiers pénibles mal valorisés / Financement insuffisant

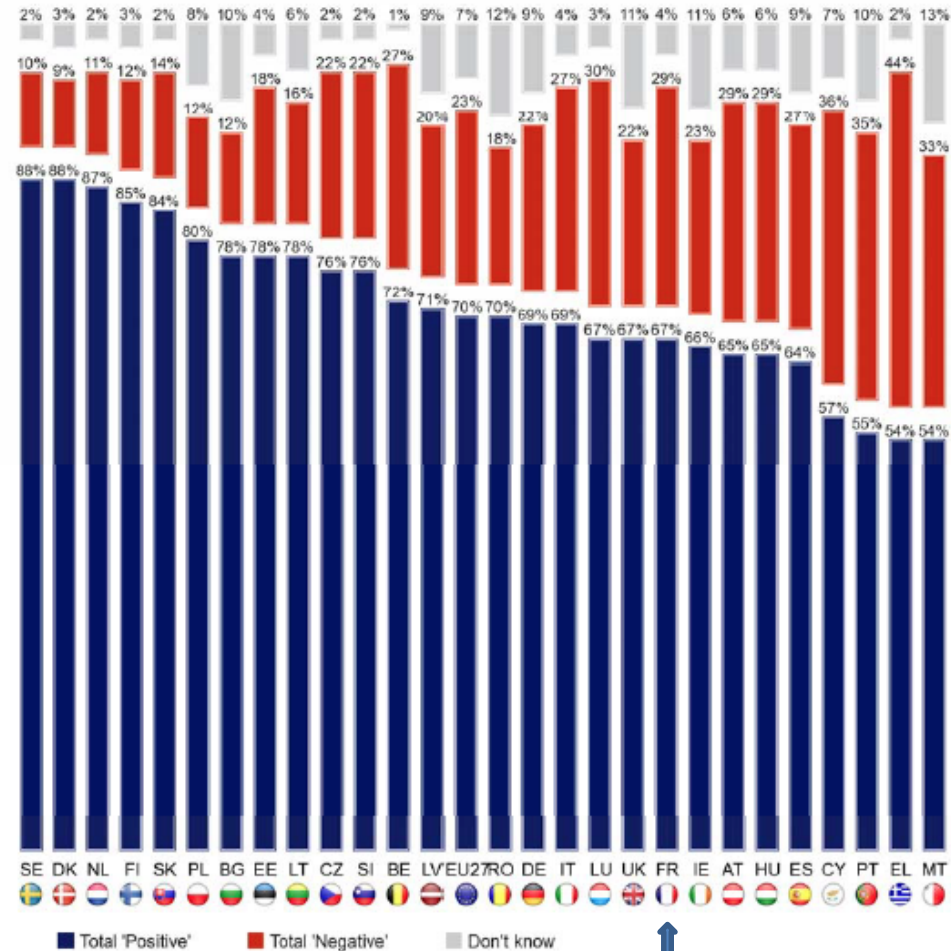
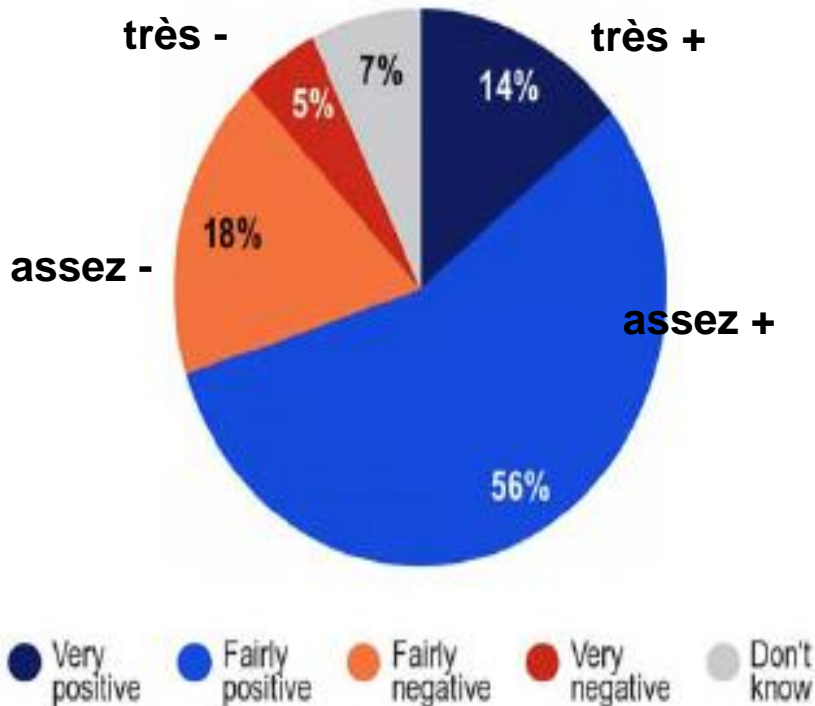
Carence et Turnover important

Cohorte de 26751 citoyens européens issus de 27 pays

Public attitudes towards robots Septembre 2012 Special Eurobarometer 382

Regard et intérêt très variables

Regard bienveillant



Regard ambivalent

- ne pas passer à côté d'un grand virage et de solutions de suppléance
 - ne pas se priver de techniques qui rendent service
- mais
- ne pas remplacer l'homme par le robot et/ou ne pas soumettre l'homme au robot

Le robot est une bonne chose pour la société car elle aide les gens



Le robot « vole » le travail des gens



Le robot est nécessaire quand la tâche est dure ou dangereuse



Le robot exige une maintenance particulière

















































La robotique peut booster l'emploi



Instrument-like

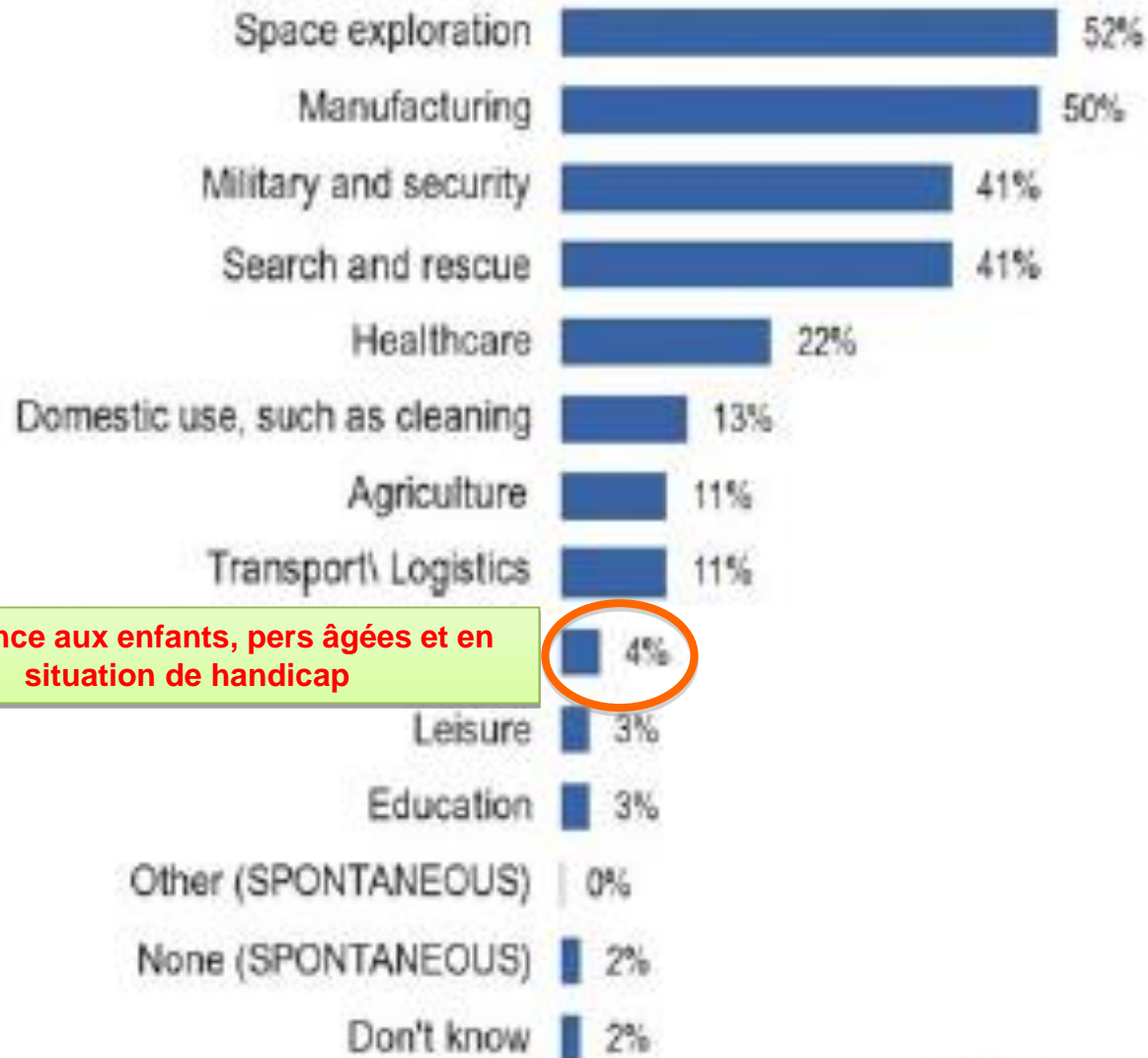
Human-like

	EU27	81%
	SE	95%
	DK	94%
	FI	93%
	NL	91%
	SI	88%
	SK	88%
	CZ	87%
	DE	87%
	BE	86%
	FR	86%
	LV	85%
	HU	84%
	BG	83%
	PL	83%
	UK	82%
	EE	80%
	IE	80%
	LU	79%
	LT	78%
	IT	77%
	ES	75%
	CY	75%
	AT	74%
	EL	69%
	MT	65%
	PT	64%
	RO	56%

	EU27	66%
	BG	80%
	CZ	78%
	SK	76%
	IE	75%
	CY	74%
	ES	73%
	IT	73%
	LV	73%
	PL	73%
	NL	72%
	SI	72%
	AT	67%
	DK	66%
	EE	66%
	HU	66%
	LT	65%
	MT	65%
	FI	65%
	UK	64%
	SE	63%
	FR	62%
	EL	61%
	BE	59%
	LU	58%
	DE	56%
	PT	55%
	RO	52%

Représentation
du robot type

Les domaines d'application pressentis



Principaux mécanismes de résistance

- ***Représentations duelles entre le « je peux faire » et le « je veux faire » sans être regardé, ni être stigmatisé***
- ***Peur de la dépendance technologique et la peur de la rupture technologique***

Ecosystème ?

Réalités socio-politiques

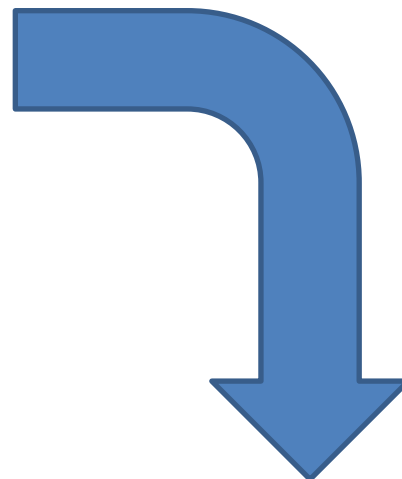
Loi « cadre » du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées

« Constitue un handicap, au sens de la présente loi, **toute limitation d'activité ou restriction de participation à la vie en société subie dans son environnement**

par une personne **en raison d'une altération substantielle**, durable ou définitive d'une ou plusieurs fonctions physiques, sensorielles, mentales, cognitives ou psychiques, d'un polyhandicapé ou d'un trouble de santé invalidant ».

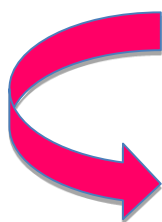
1. Déficience intellectuelle et difficulté de comportement.
2. Déficience du psychisme.
3. Déficience de l'audition.
4. Déficience du langage et de la parole.
5. Déficience de la vision.
6. Déficience viscérale générale.
7. Déficience de l'appareil locomoteur.
8. Déficience esthétique.

**EGALITE DES DROITS
EGALITE DES CHANCES**



Réponses diversifiées et multimodales
en termes d'aides techniques
d'aides technologiques

Possibilité pour le patient de CHOISIR
Possibilité pour les professionnels d'ADAPTER



Abandon et/ou Rejet

Indépendance



Autonomie



1. VISIBILITE DE L'OFFRE

2. ACCES A L'OFFRE

3. ETRE APTE OU ETRE AIDE A COMPRENDRE LES ENJEUX DE SES CHOIX

4. VIVRE DANS UN ENVIRONNEMENT PROPICE A LA REALISATION DE CHOIX

5. BENEFICIER D'UNE OFFRE ETENDUE

Réalités scientifiques

- Recherche technologique « dispersée »
- Expertise clinique encore trop pauvre en amont, pendant, en aval
- Évaluations de trop courte durée
- Expertise non indépendante
- Échantillons de faible taille
- Impossibilité de travailler à l'insu
- Difficulté à constituer des groupes témoins

Les acteurs de la robotique « atomisés »

UTILISATEURS

Particuliers

- personnes en situation de handicap
- personnes à l'origine d'un handicap
- personnes à l'origine d'une perte d'autonomie
- aidants familiaux

Professionnels

- professionnels de santé libéraux

Principes de Réalités

- Réalités des besoins & attentes
- Réalités des limites et verrous technologiques
- Réalités du process d'acquisition ...

Pré

Analyse de besoins

Laboratoires de recherche
en robotique

Industriels et
distributeurs de
dispositifs robotisés
d'assistance

Organismes de conseil et/ou de financement

- Associations de personnes handicapées, dépendantes et/ou âgées
- Mutuelles / Assurances...

CONCEPTEURS / FABRICANTS / DISTRIBUTEURS

La Robotique de Manipulation

Hier

Aujourd'hui

Demain



Les robots de manipulation

Tâches directes: Atteindre, saisir, tenir et le lâcher

Tâches environnantes: rapprocher les objets d'un espace péricorporel ou extra-corporel lointain

Robots mono-tâches (repas ++)



Handy 1 UK



Bestic Sweden

5450 €



Neater Eater UK

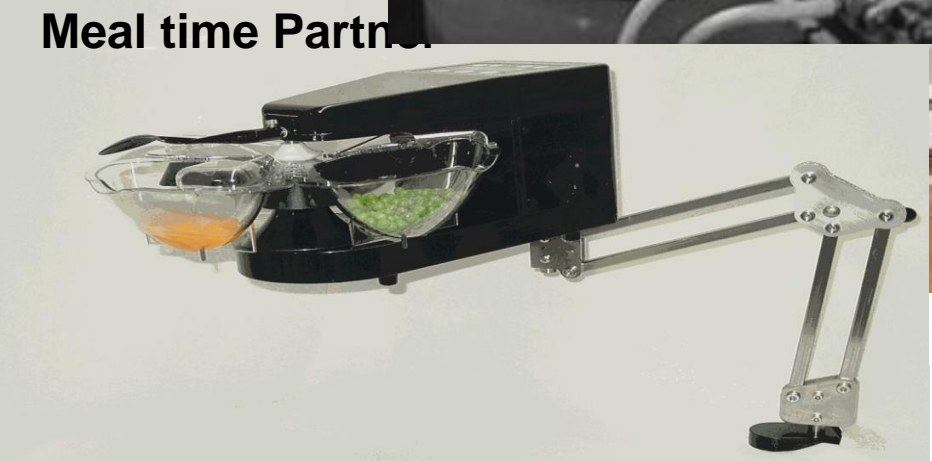
200 à 6200€



Obi



My Spoon J



Meal time Partner



Windsford feeder UK 2300 €



3200 €



 **eater.co.uk**

Robots multi-tâches fixes

**Action ciblée sur les services
à visée professionnelle**

**bureautique, multimedia,
loisirs, domotique, etc.**

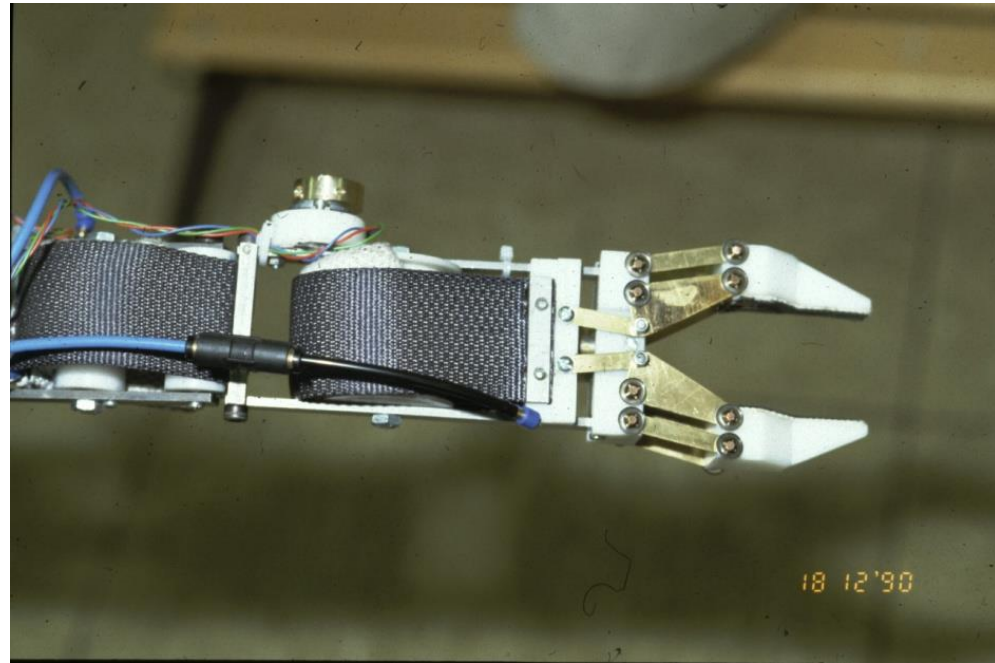
Poste de travail robotisé fixe
dans un environnement
dédié

Les précurseurs



Station de travail robotisée

basée sur le télémanipulateur MAT 2 de CEA



Le projet Spartacus (Guittet 1979)

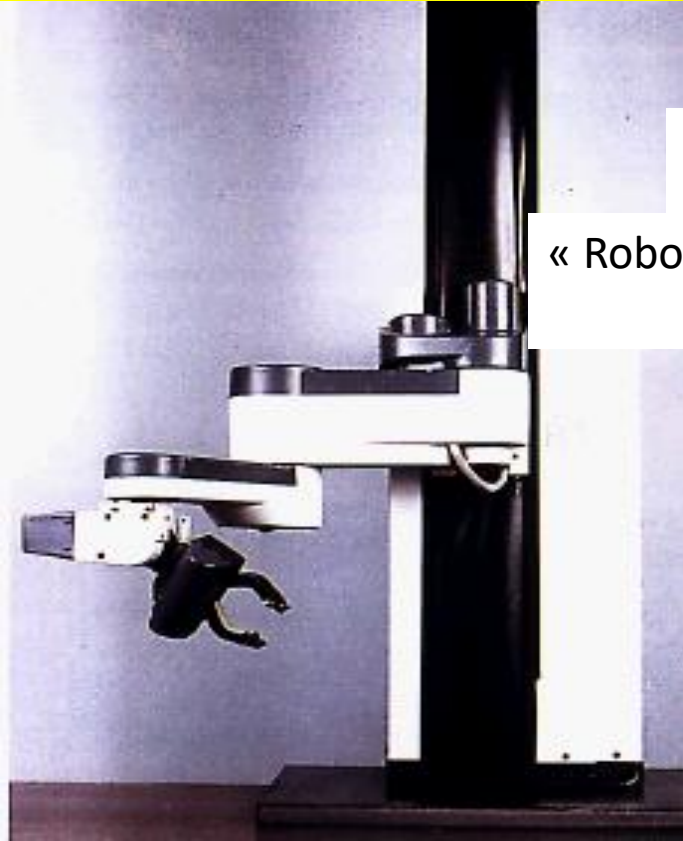
Expérimentation à l'Hôpital Raymond Poincaré
1985 : base de référence

....10 ans plus tard -> station robotisée baptisée Master
1990-2000

Manipulateur Autonome au Service des tétraplégiques pour l'Environnement et la Réadaptation

Raid MASTER 1995

« Robot to Assist the Integration of Disabled »
Programme TIDE



Bernard Lesigne 1990



Robots multi-tâches

Tâches automatiques préprogrammées



Sélection
pictogrammes
= tâches



pince distale dotée
de capteurs

6° de liberté

Environnement dédié, structuré et fixe (casiers numérotés)

Années 1990-2000

« Cela me permet de mener des tâches de bout en bout sans avoir l'aide de quelqu'un. Je peux ainsi écrire un texte à l'écran, l'imprimer, puis le déposer sur mon pupitre de lecture pour le relire »

Bernard Lesigne 2003

- **Solutions très coûteuses**

Cartographie précise

- **Solutions complexes**
- **Solutions « figées »**
- **Solutions encombrantes**
- **Paramétrage et apprentissage trop longs**

Robots embarqués sur FR

MANUS
1985

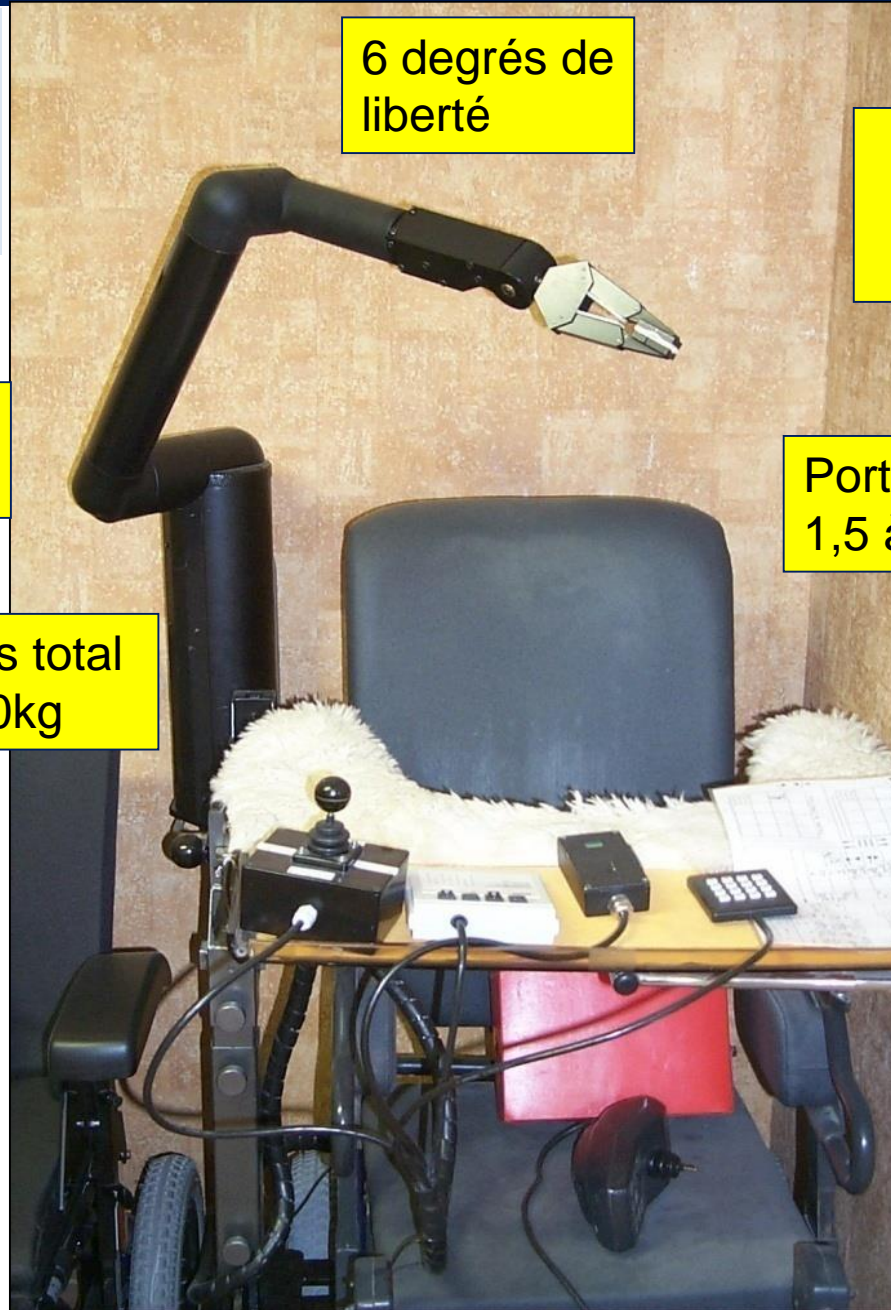
6 degrés de
liberté

pince
à 2
doigts

Envergure
80 cm

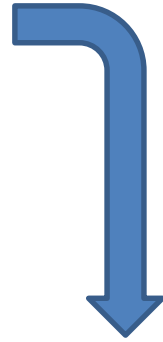
Portage
1,5 à 2kg

Poids total
20kg

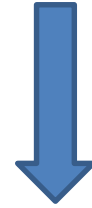


Architecture logicielle

- Mode Principal = menu
- Mode dépliage du bras
- Mode repliage du bras



- **Mode cartésien**: Contrôle de la position et de l'orientation de l'organe terminal dans l'espace des tâches **clavier 4X4 (16 touches)**
- **Mode Articulaire** : Commande du bras au niveau de chaque articulation **(joystick à 2 dimensions)**



Investissement
important de l'utilisateur
Repérage / Stratégie de
saisie



Nombre élevé
d'articulations

∞

Nombre limité de
commandes
Droit/Gauche,
Avant/Arrière

-Problèmes de l'apprentissage et de la manipulation de l'IHM

-Manipulations du robot longues pour atteindre les cibles

-Encombrement de
d'environ 20 cm la

-Poids du robot (2
lorsque celui-ci se

-Autonomie de la

I-Arm: Seule action d'amélioration

=

Commande via 5 menus différents préprogrammés

↓

Action plus ciblée

augmente

l, surtout

par celle-ci.

-Difficulté pour saisir un objet qui n'est pas dans le champ de vision de l'opérateur (surtout lorsque celui-ci porte une minerve)

-Lenteur de déplacement du bras

-Doute sur la sécurité des personnes lorsque la pince se trouve à proximité du visage des personnes (approche de la fourchette autour de la sphère orale lors de la prise de repas).

Intégration de la robotique de manipulation dans les usages

Voyage d'étude et de réflexion (Hetdorp Pays- Bas)

!! Oui c'est possible !!

APPROCHE, Association pour la promotion de la robotique en faveur des personnes handicapées : enfin une réalité.

Busnel, M. Robotique, domotique et Handicap (Rencontres en rééducation éd., pp. 36-37). Montpellier : Masson, 2001.



















Jaco 2010

Le Nouveau
Chef de File



Poids de l'ensemble: **5 kg**

(fibre de carbone)

DDL = 6

Pince à 3 doigts

Poignet 360° +++

Portage max : 1,5 à 2 kg

Latéralité sur FR: D et G

Fixation: FR

Amplitude: 90 cm

Vit max: 20 cm/sec

Retour automatique à la
position de repli total

Alimenté par la batterie du FRE

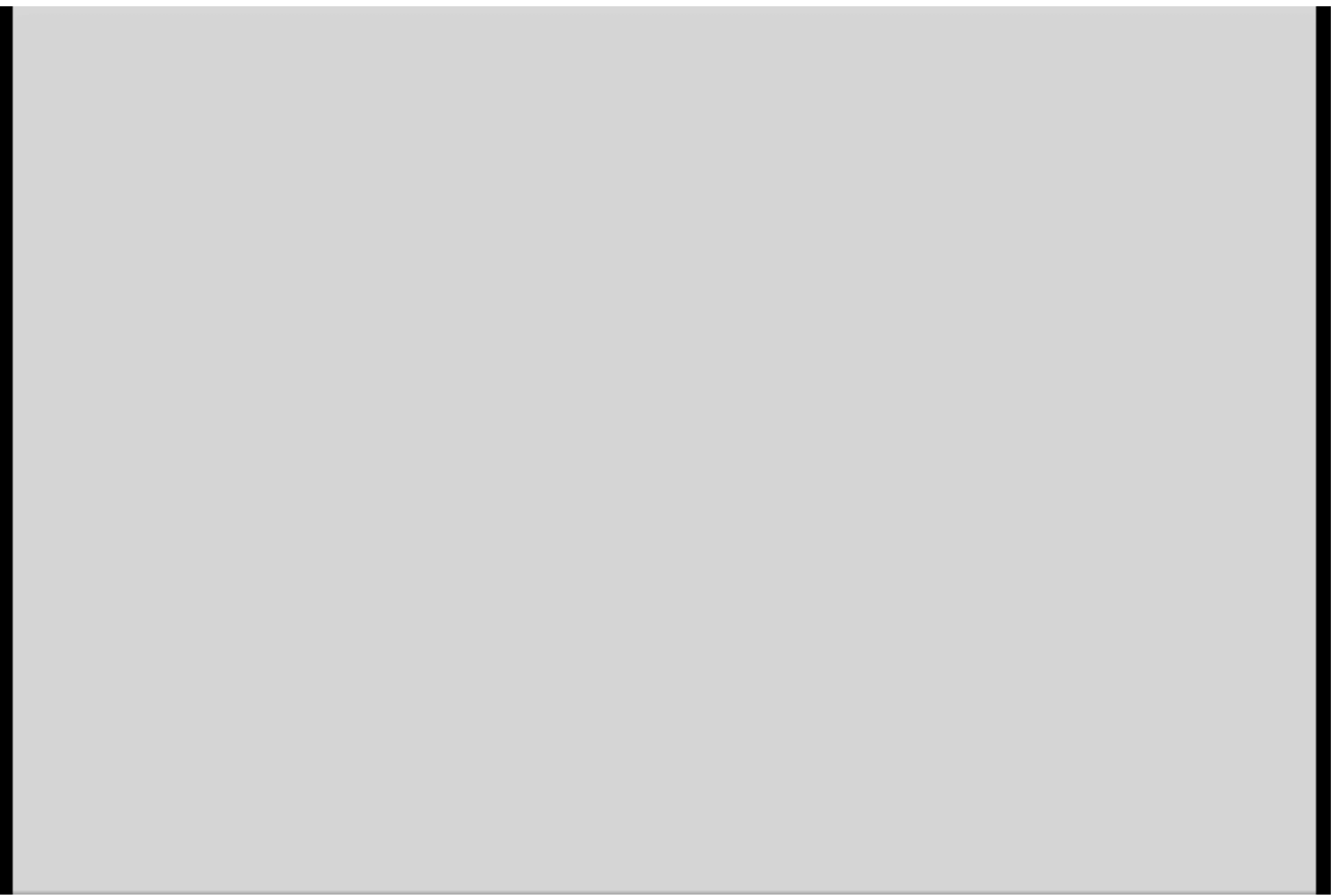
Couplage

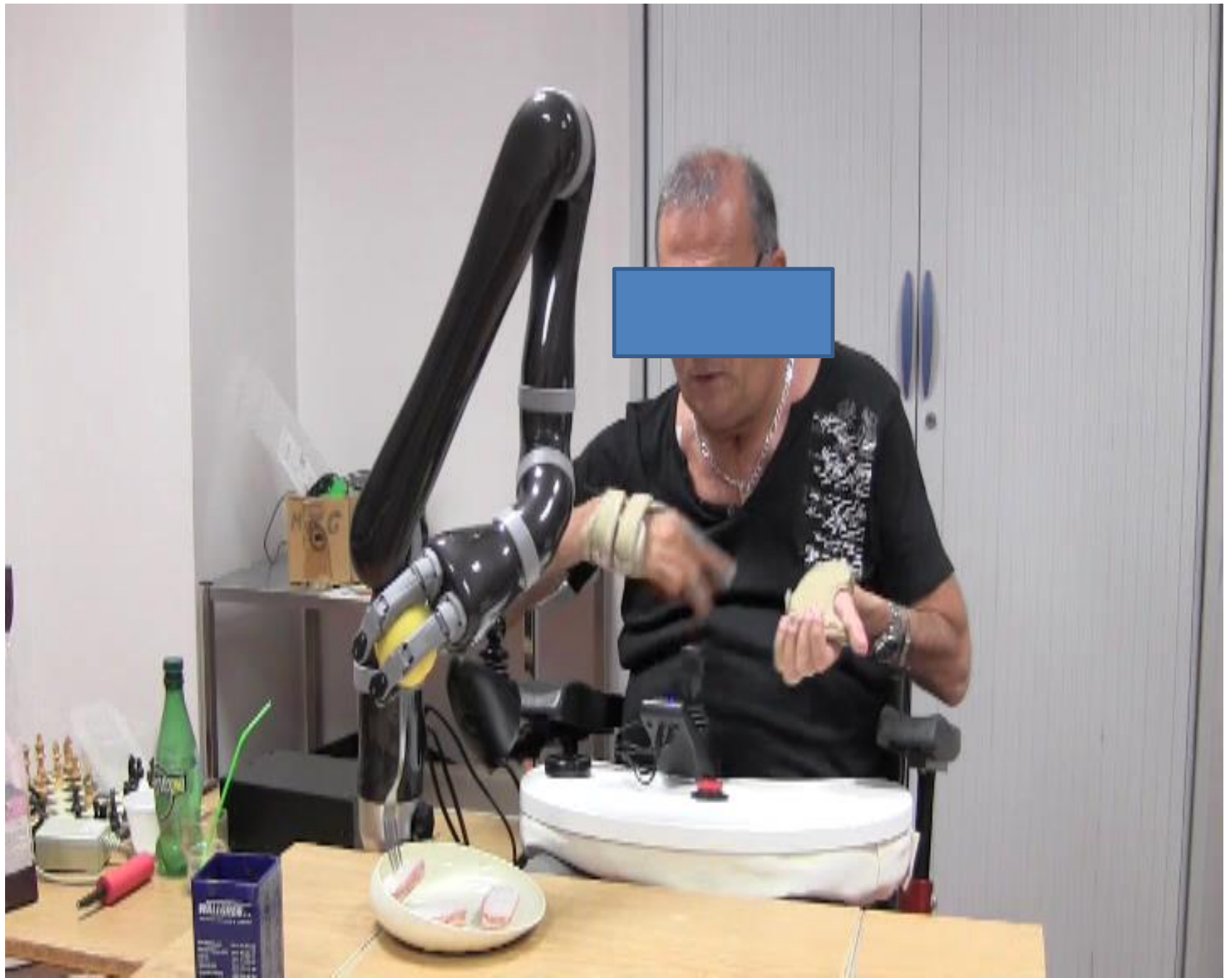
FR + Jaco + Téléthèse

Fabricant: KINOVA

Distributeur: FOCAL Eu /Ergodiffusion Fr

Tarif: 29 K€





Grande faiblesse de Jaco

- Interface d'origine fournie avec le bras:
3 commandes difficiles pour des mains maladroites et/ou très déficientes à des fins de pilotage dans un espace 3D

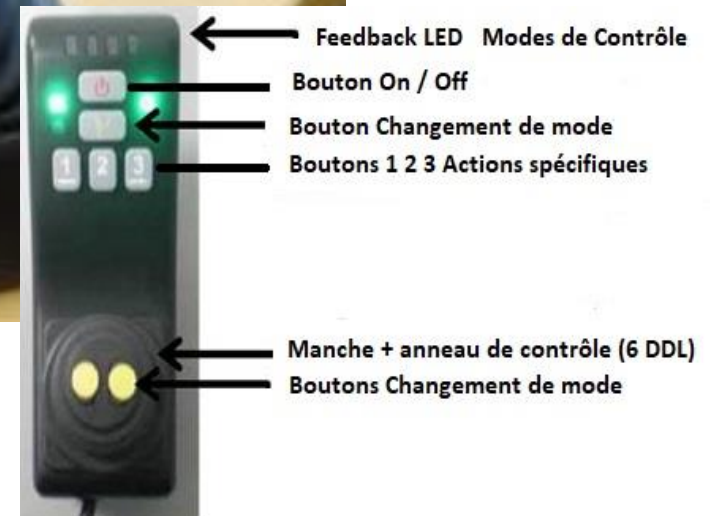
un bouton on/off [A]

un bouton de changement de mode [B] sur la commande et 2 boutons de changement de mode sur le manche

3 boutons d'actions spécifiques 1, 2 et 3 [C]



Un manche ou joystick doté d'un anneau de contrôle à 6 degrés de liberté [D] un bouton sur le Joystick,





Grande richesse de Jaco

Systeme **Ouvert** et **Accessible** pour configurer

- une interface de commande adaptée à la nature du déficit moteur
- une interface graphique de facilitation du déplacement du bras dans l'espace

**Étudier la place d'interfaces virtuelles dans
l'amélioration de la précision et de
l'efficacité de commande du bras robotique
JACO**

Collaboration IRIT – APPROCHE –

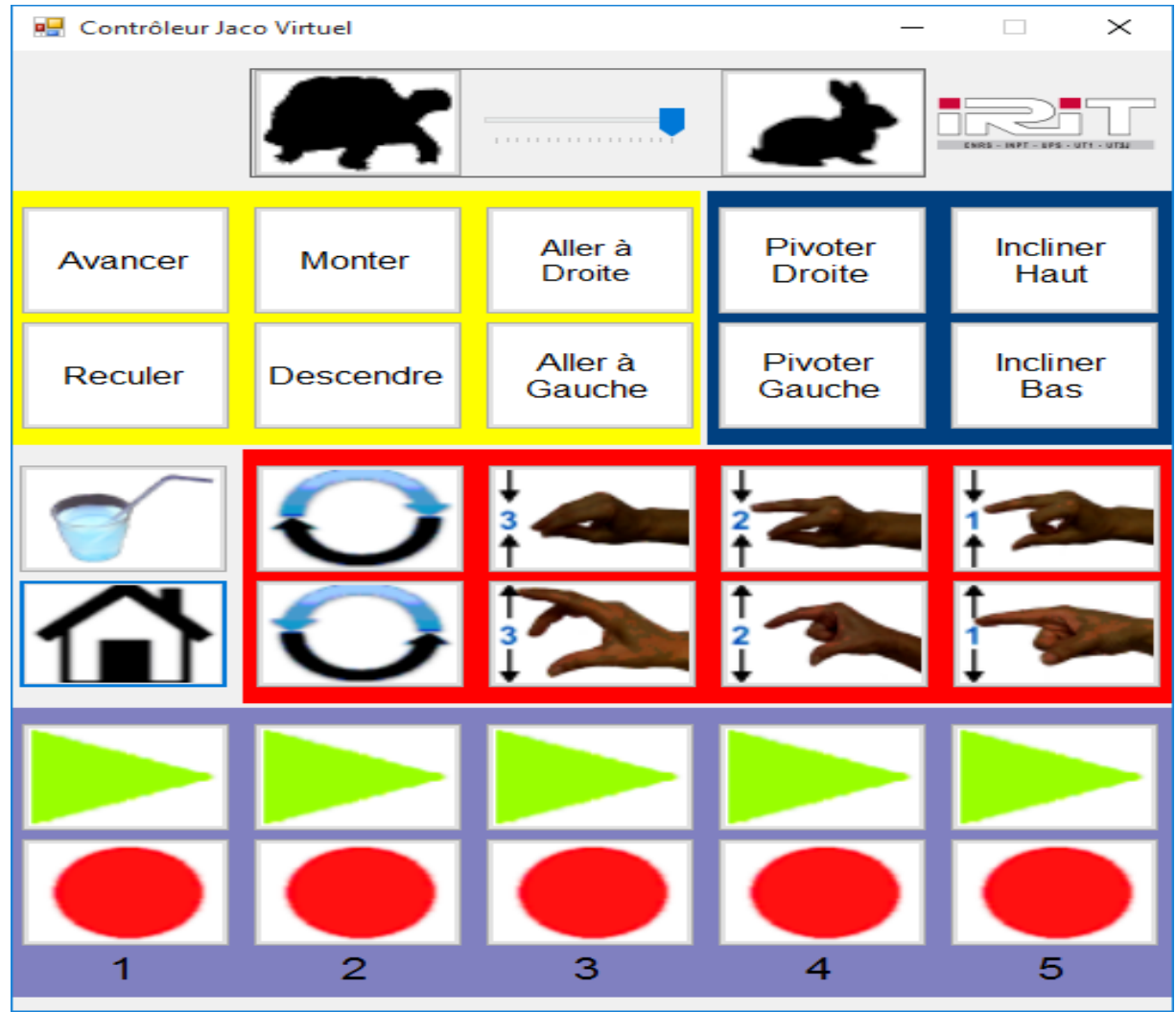
Conserver l'usage de *l'interface de commande la plus communément utilisée* pour l'ordinateur



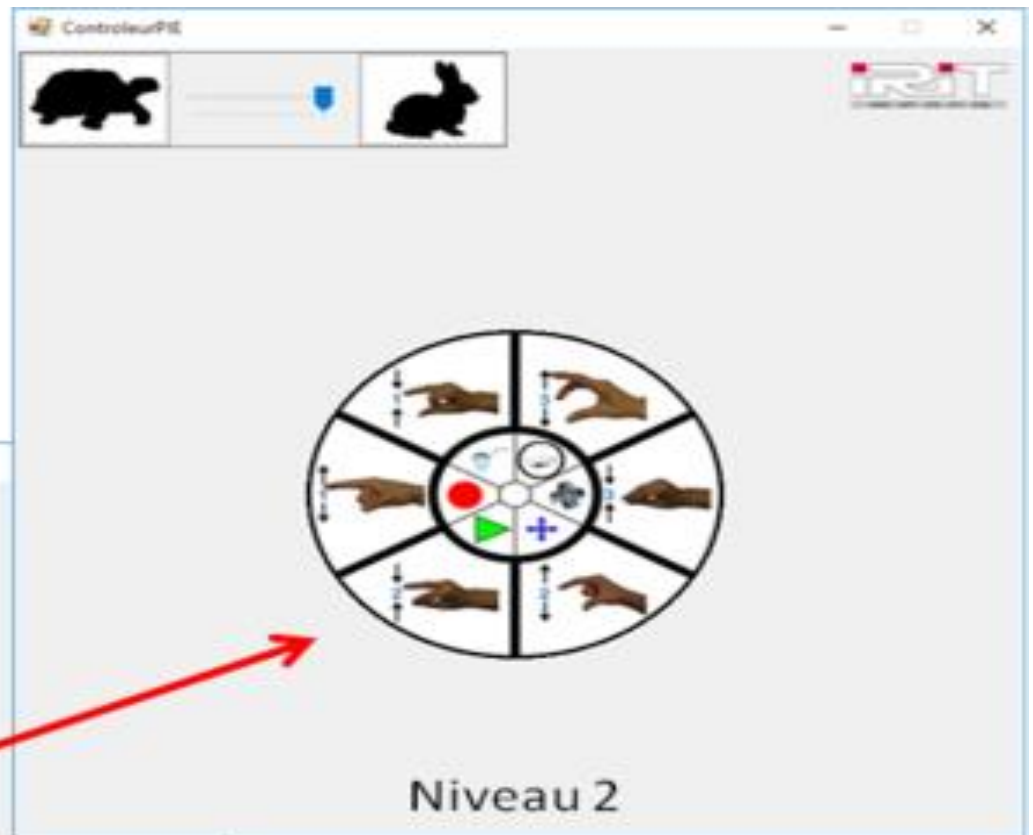
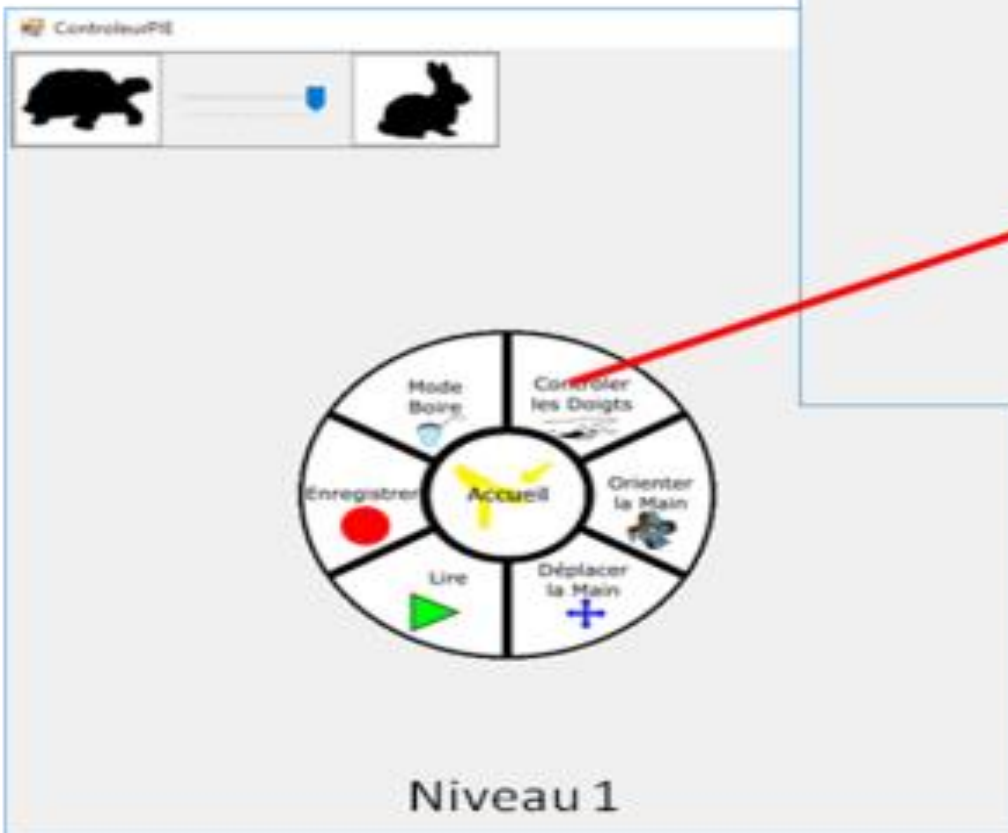
Définir le mode d'interaction et de pilotage du bras au travers d'exercices sur un ordinateur destinée à guider le choix de l'interface virtuelle du bras JACO

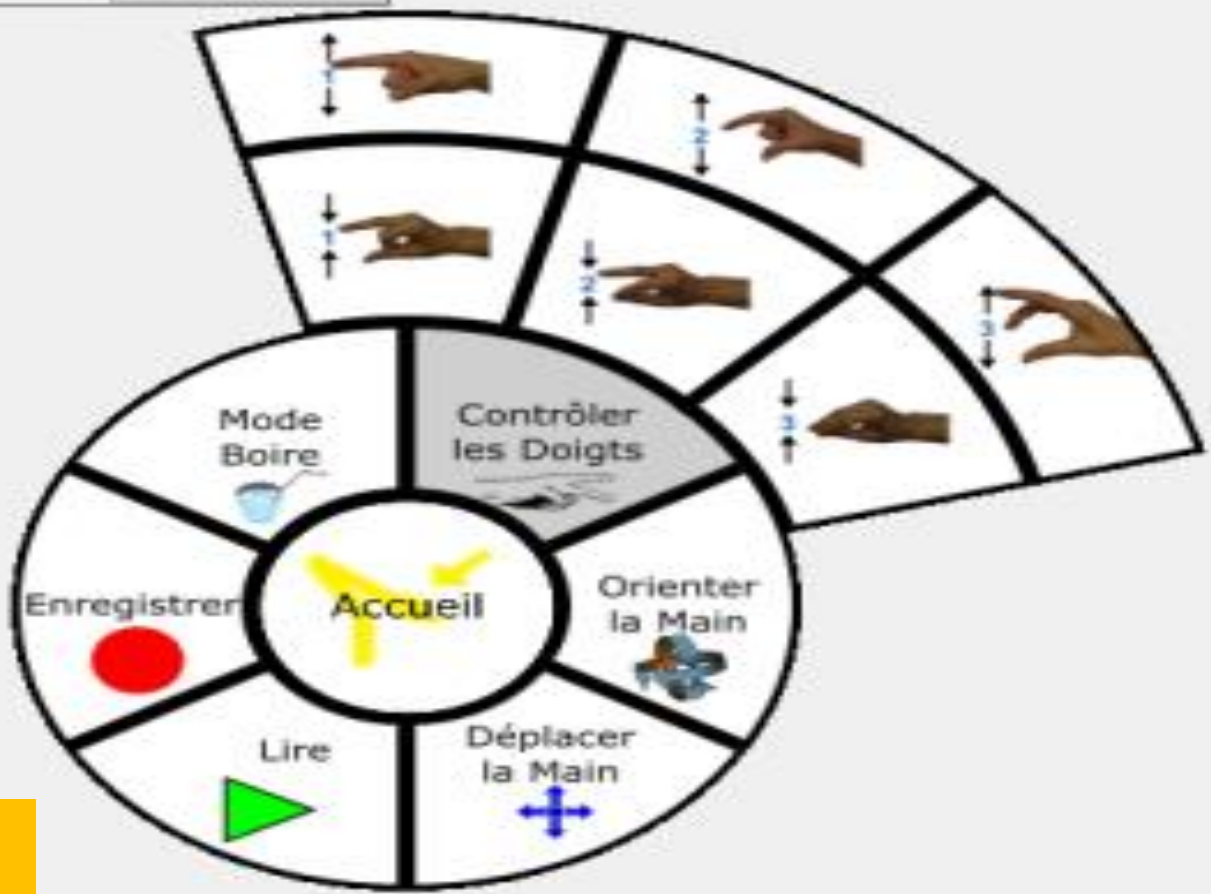
(Clavier virtuel vs Pie Menu à niveaux vs Pie Menu à Extension)

Clavier virtuel



Pie Menu à Niveaux





Pie Menu à Extension

Évaluation de tâches de saisie

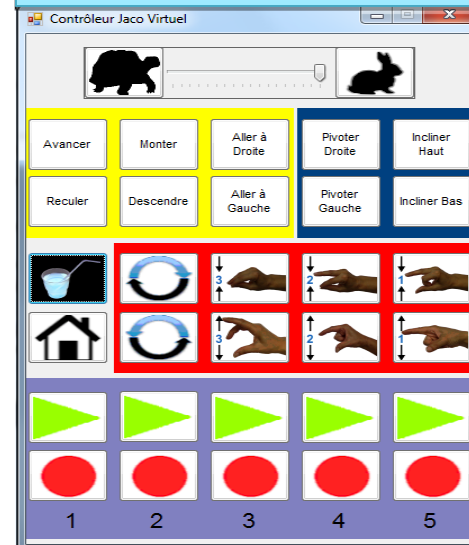
Choix de l'interface virtuelle la plus adaptée

Apprentissage JACO
SANS
l'interface virtuelle

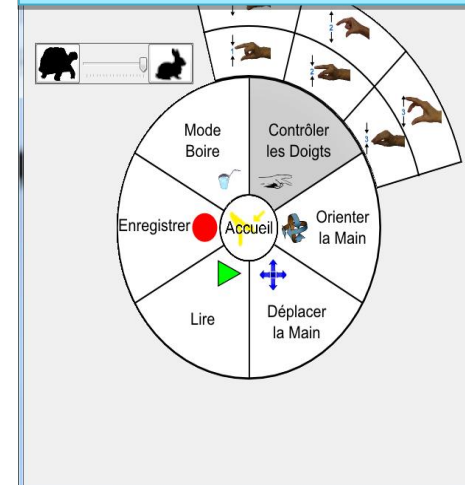


Apprentissage JACO
AVEC
l'interface virtuelle
+

Clavier



Pie menu par niveau
ou par extension



Solutions robotisées mixtes:
suppléance à la manipulation et rapprochement des espaces

Bras sur base mobile

**Exigences fonctionnelles et
techniques importantes**

Action à distance et exploration de
l'espace extra-corporel

Déplacement de la base mobile vers l'objet à saisir

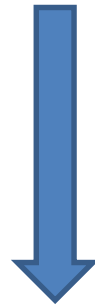


- Planification de trajectoires
- Reconnaissance environnementale
- Cartographie et suivi de trajectoires
- Evitement d'obstacle (laser, US, IR...)
- Localisation d'objets

Environnements divers et non structurés
Objets non définis
Accessibilité et encombrement

++ Saisie d'objet ++

- Positionnement de la base mobile
- Positionnement du bras
- Orientation de la pince
- Saisie



Objet de toutes les
attentions

Projet AVISO



ORIGINAL ARTICLE

Evaluation of a Graphic Interface to Control A Robotic Grasping Arm: A Multicenter Study

Isabelle Laffont, MD, PhD, Nicolas Biard, OT, Gérard Chalubert, Laurent Delahoche, PhD, Bruno Marhic, PhD, François C. Boyer, MD, PhD, Christophe Leroux, PhD

Projet ANSO



ANSO study: Evaluation in an indoor environment of a mobile assistance robotic grasping arm

Étude ANSO : évaluation en environnement domestique d'un robot mobile d'assistance avec bras manipulateur

P. Coignard^{a,*e}, J.P. Depart^{a,e}, O. Remy Neris^{c,e}, A. Baillet^{b,e}, A. Bar^{b,e}, D. Drean^{b,e}, A. Verier^{a,e}, C. Leroux^{d,e}, P. Belletante^{b,e}, J.L. Le Guet^{a,e}

Projet ARMEN Robot SAM

International Journal of Social Robotics
<https://doi.org/10.1007/s12369-018-0482-7>

SAM, an Assistive Robotic Device Dedicated to Helping Persons with Quadriplegia: Usability Study

Charles Fattal^{1,2,8}, Violaine Leynaert³, Isabelle Laffont⁴, Axelle Baillet⁵, Michel Enjalbert⁶, Christophe Leroux⁷

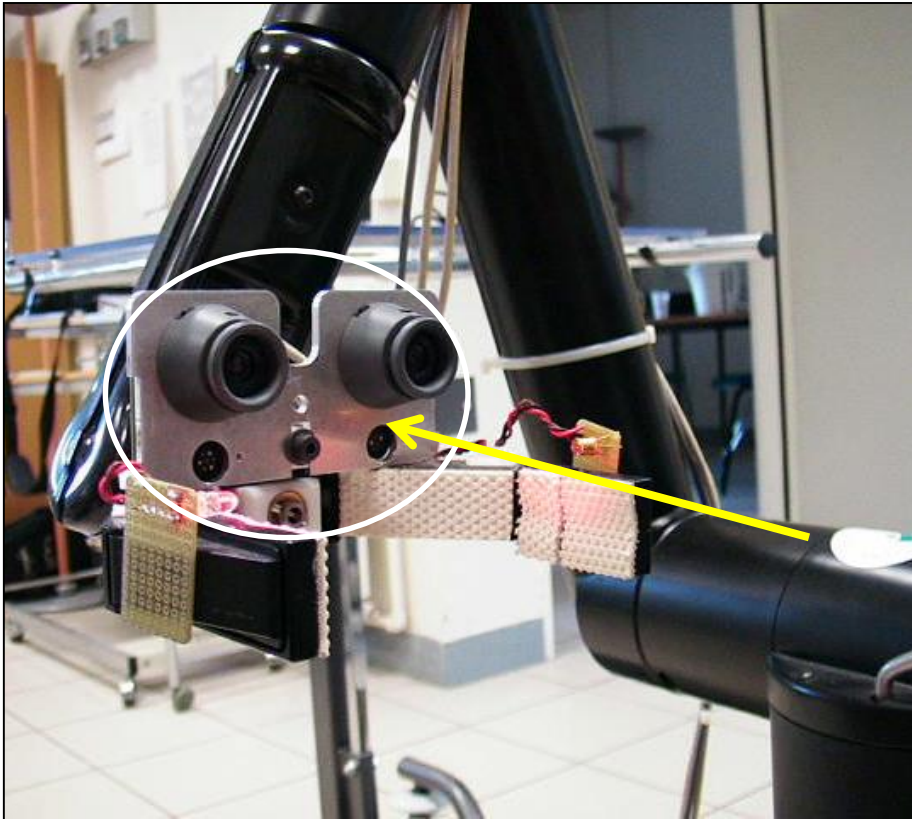
Assistance Par Vision à la Saisie d'Objets

- guider le mouvement du robot par asservissement visuel**
- fournir, à l'utilisateur, une info sur la scène**

20 sujets avec déficience sévère des MS
21 sujets valides

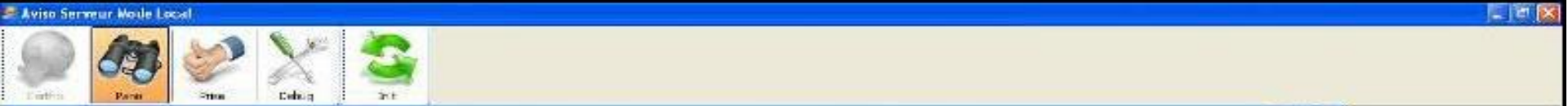
Faciliter le repérage dans l'environnement

-> Caméra panoramique



Faciliter la reconnaissance de l'objet

**> Caméra stéréoscopique
distance / volume / poids**



Caméra panoramique sur base mobile

Représentation dépliée de l'environnement

Image de l'objet à saisir affinée / ajustement terminal de la tâche

2 caméras sur la pince



1^{er} clic : Lancement de la reconnaissance de l'objet

Estimation automatique de la position / Cadrage de l'objet

2^{ème} clic : Validation de l'objet à saisir et Activation du bras

3^{ème} clic : Validation de la mise en route du bras

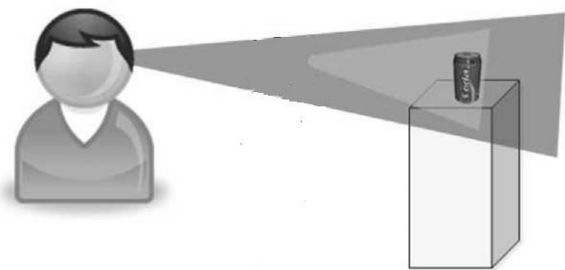
> Validation de la saisie automatisée d'objets

Projet ANSO

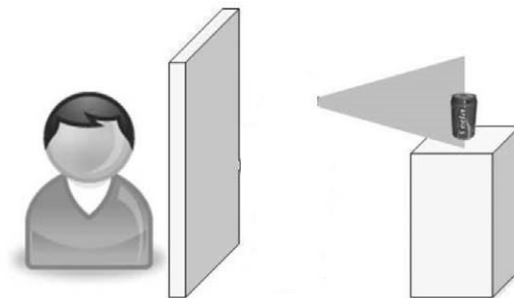
**29 sujets tétraplégiques
34 sujets valides**



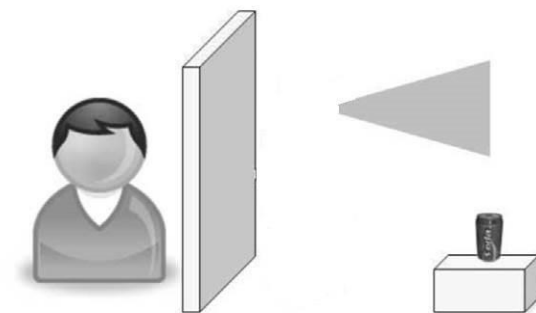
scenario 1 : dans le champ visuel du sujet



scenario 2 : hors du champ visuel du sujet



scenario 3 : hors du champ visuel et de la caméra



3 scénarii de saisie

Interfaces de pointage personnalisée

(trackball, souris, track IR, trackpad, trackball + styilet, joystick, pavé numérique)

Interfaces de validation

(souris, trackball, contacteur souffle, autoclick, Easy mouse,)



Peu d'échecs dans la réalisation des différentes étapes
(désignation, validation et saisie) **idem patients & témoins**

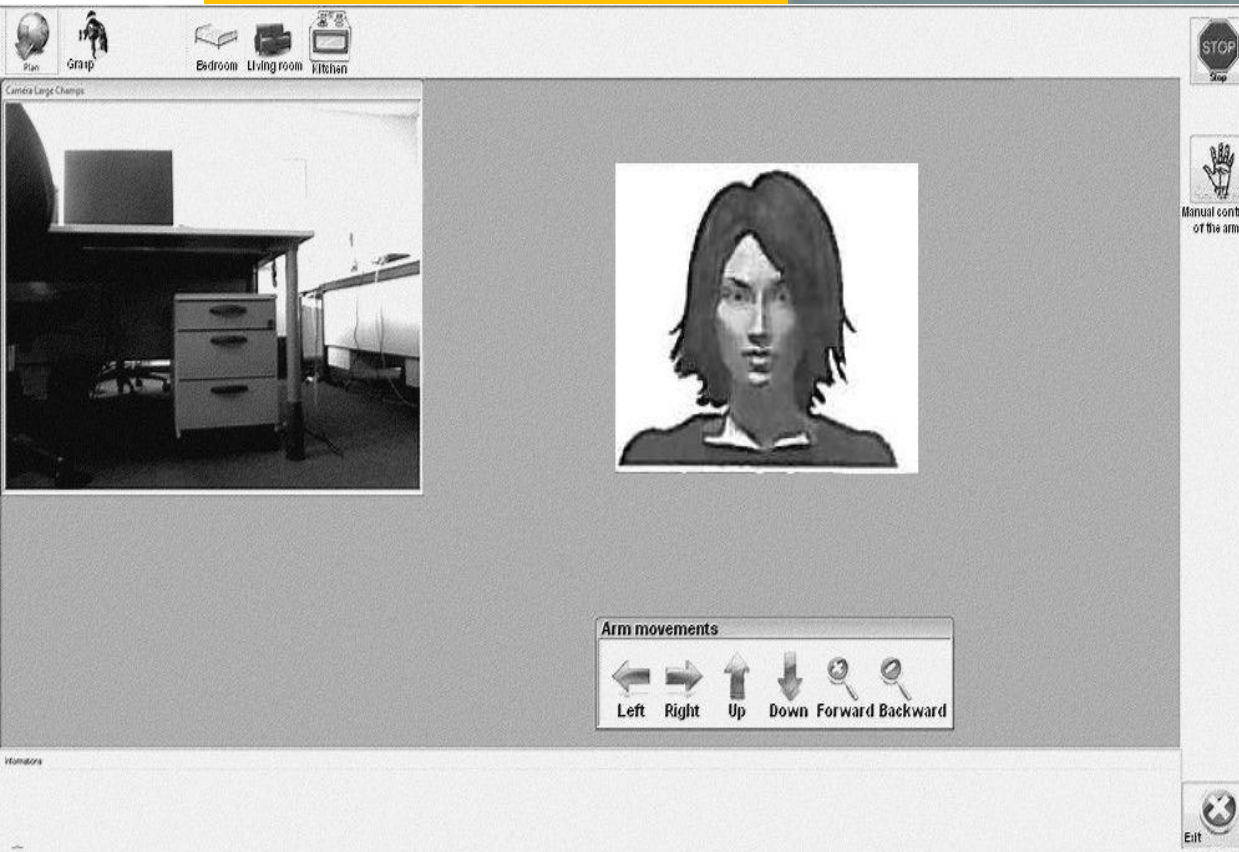
> Efficacité de l'interface graphique pour la désignation et la saisie d'objet (intérêt de l'automatisation de la tâche)

Projet ARMEN

Robot SAM

Bras JACO sur
base Robulab

17 sujets tétraplégiques





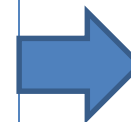
Taux de succès d'accomplissement de la tâche

	Cannette	Télé commande	Livre
Etape 1: Identifier la pièce où est placé l'objet	94%	100%	100%
Etape 2: Diriger le robot vers l'objet	94%	100%	100%
Etape 3: Désigner l'objet et valider le choix	88%	88%	53%
Etape 4: Approcher l'objet et le saisir	71%	65%	41%
Etape 5: Ramener le robot avec l'objet saisi et le lâcher	76%	65%	47%

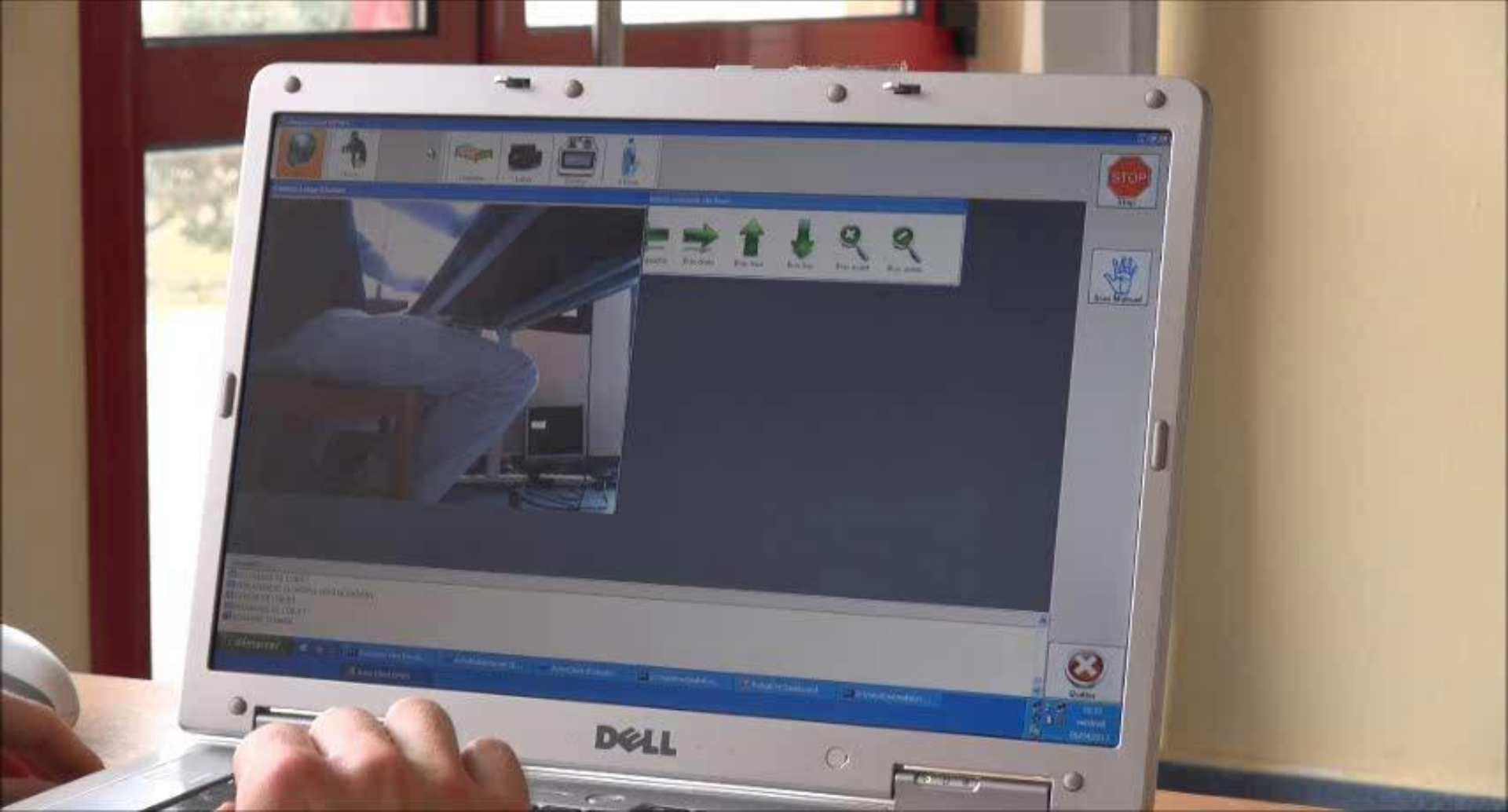
+++++++ Ajustement terminal ++++++++

Exigences de maîtrise

- De l'orientation de la base
- De l'orientation du bras
- De l'orientation de la main



Ergonomie
Optimale
de l'iHM



Intuitive

Conviviale

Réactive

Apprentissage facile

Importance des
retours vocaux et
visuels

La Neuroprothèse de Suppléance

En 2023

Pourquoi

la **Stimulation Electrique Fonctionnelle**
demeure la solution la plus prometteuse pour
générer une activité motrice et restaurer des
fonctions en cas de lésion de la moelle épinière ?

Développer des préhensions chez le tétraplégique

- Priorité des priorités dans la vie quotidienne
- Offrir la possibilité d'assumer des fonctions essentielles (par ex la pratique des sondages urinaires intermittents)

"If you have nothing,
a little is a lot"

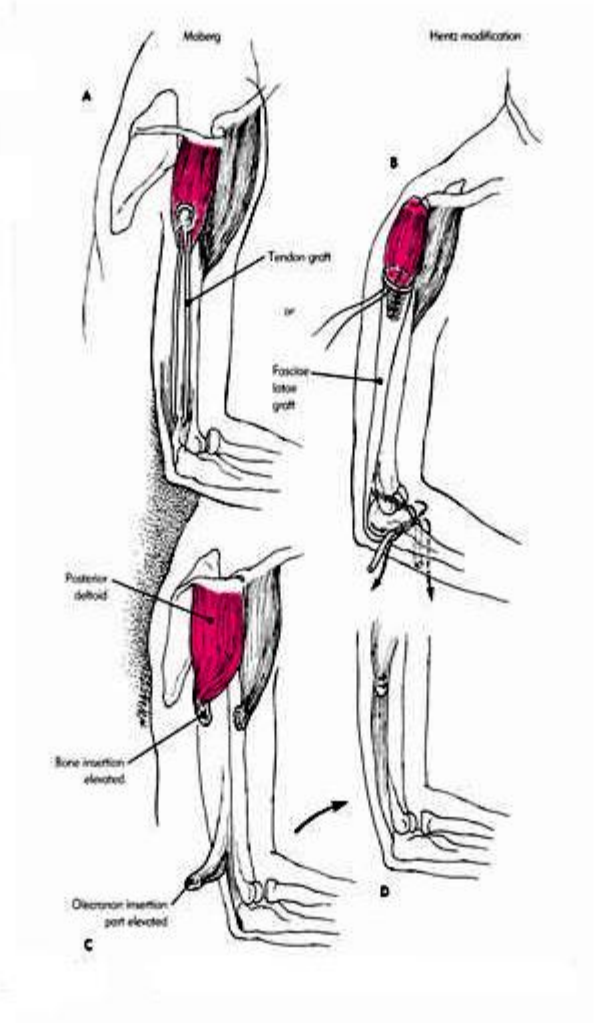
(Sterling Bunnel)



102 Restoration Extension active coude: Deltoide post sur Triceps Brachii

Patients \leq C6

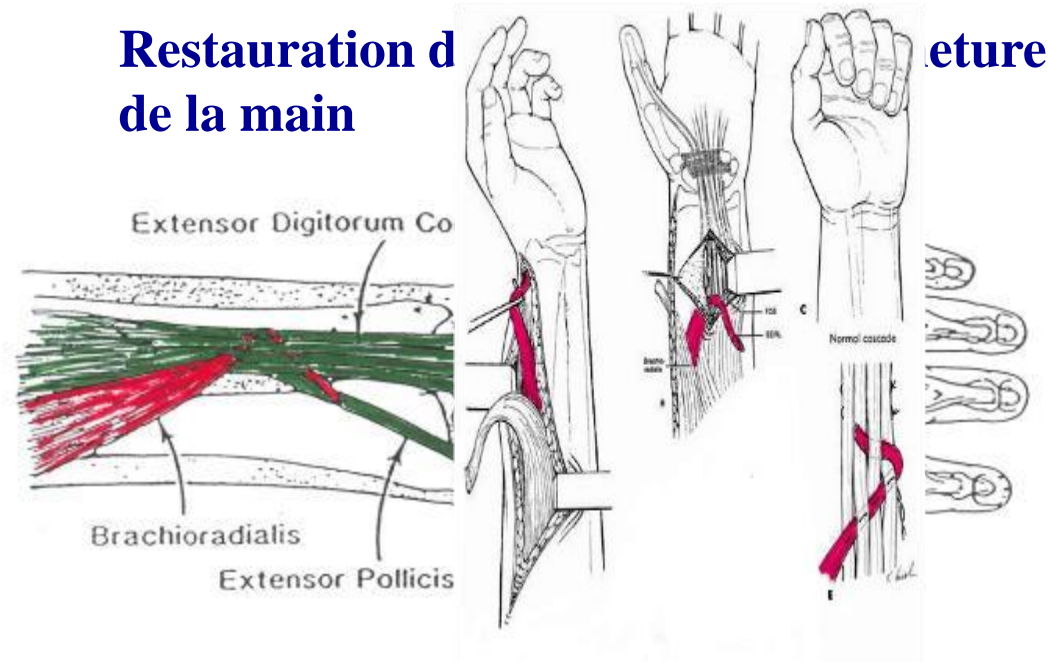
Transferts tendineux de muscles r sidaux actifs

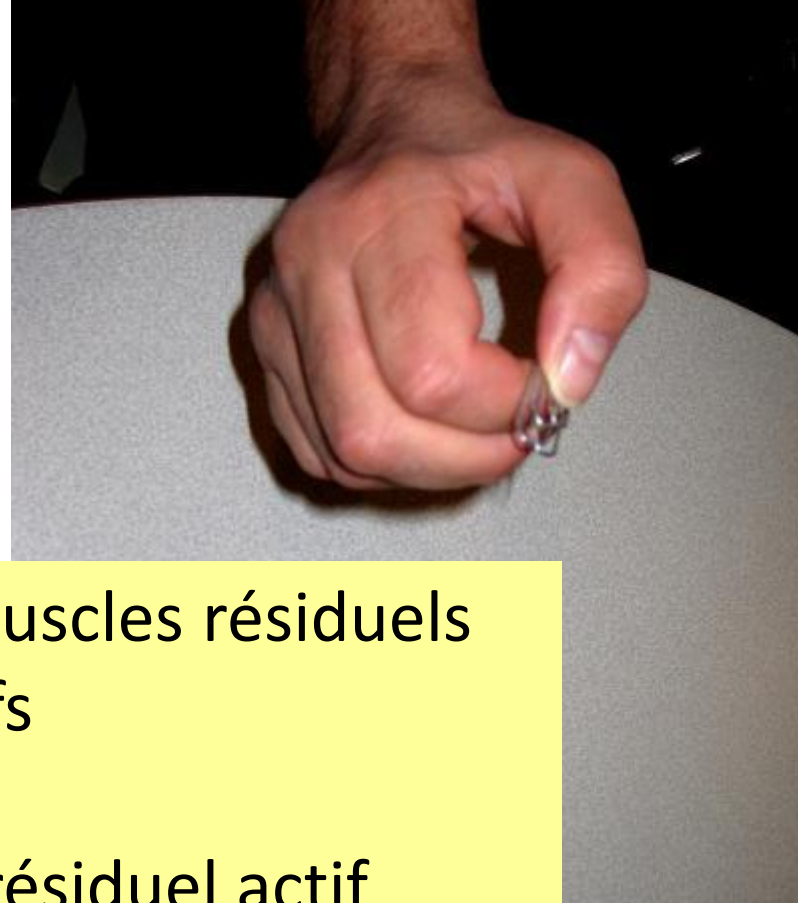


Tendon transfer surgery

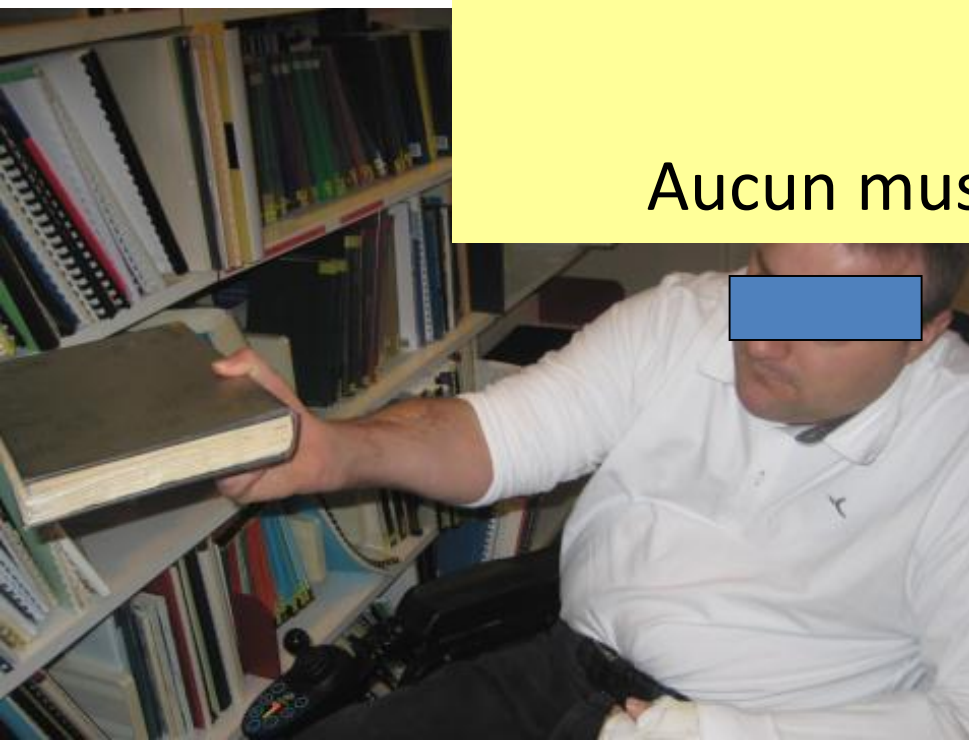
Restauration d de la main

eture





Seulement 1 à 2 muscles résiduels
actifs
Ou
Aucun muscle résiduel actif



Neuroprothèses de préhension

Electrodes de surfaces

Bionic Glove (Canada)

Mouvements du poignet décodés par des capteurs de mouvement

- Flexion poignet > Extension doigts
FES > ouverture des doigts
- Extension poignet > Flexion doigts
FES > fermeture des doigts

FESmate (Japan): électrodes percutanées

Électrodes cutanées autocollantes en regard des points moteurs



Stimulateur associé au gant

Bionic Glove (1) Popovic et al. 1999

- **Finalité:** renforcer l'effet ténodèse (en ouverture et fermeture) chez des sujets conservant une flexion dorsale et palmaire du poignet (groupe 5)
- **Principe:** Activer les fléchisseurs et les extenseurs de doigts lors du jeu des ténodèses

Contacteur sur le poignet->détection des mouvements de FD/FP

FP du poignet->activation des extenseurs

FD du poignet->activation des fléchisseurs

Secteur « mort » permettant une mobilité du poignet une fois la séquence activatrice initiée.

Bionic Glove (2)

- 3 électrodes de surface de stimulation en regard des points moteurs
- 1 électrode de référence
- Faible acceptabilité 30%
 - Esthétique
 - Mise en place laborieuse
 - Exposition de l'avant-bras utilisé au quotidien pour pousser portes et tiroirs (à risque pour le dispositif)



Hémiplégie

Tétraplégie C5

Le Ness Handmaster (Israël)

ORTHESE HYBRIDE


Electrodes prépositionnées pour chaque patient

Prédétermination de l'angle de dorsiflexion

Orthèse Hybride (orthèse
+ FES)



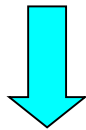
- 1 canal de stimulation pour l'Extensor Digitorum Communis
- 1 canal de stimulation pour le Flexor Digitorum Profundis et Superficialis
- 1 canal de stimulation pour l'Opposition du pouce



Unité de contrôle
portable

Bouton de commande **Ouverture**
-pour attraper suivie d'une **Fermeture**
-pour lâcher

3 programmes d'entraînement



3 programmes fonctionnels
ouverture/grasp/key-grip



Snoek GJ et al. *Spinal Cord* (38) 2000

Use of the NESS handmaster to restore handfunction in tetraplegia: clinical experiences in ten patients.



Faible acceptabilité

- Esthétique
 - Supination difficile
 - Difficultés à mettre l'orthèse
 - Exposition de l'avant-bras (risque pour le dispositif)
 - Dépendance vis à vis de l'orthèse
-
- Davantage prescrite pour les sujets hémiplegiques
 - FDA approval pour les tétraplégiques C5

La Stratégie Freehand (Palo Alto / Cleveland)

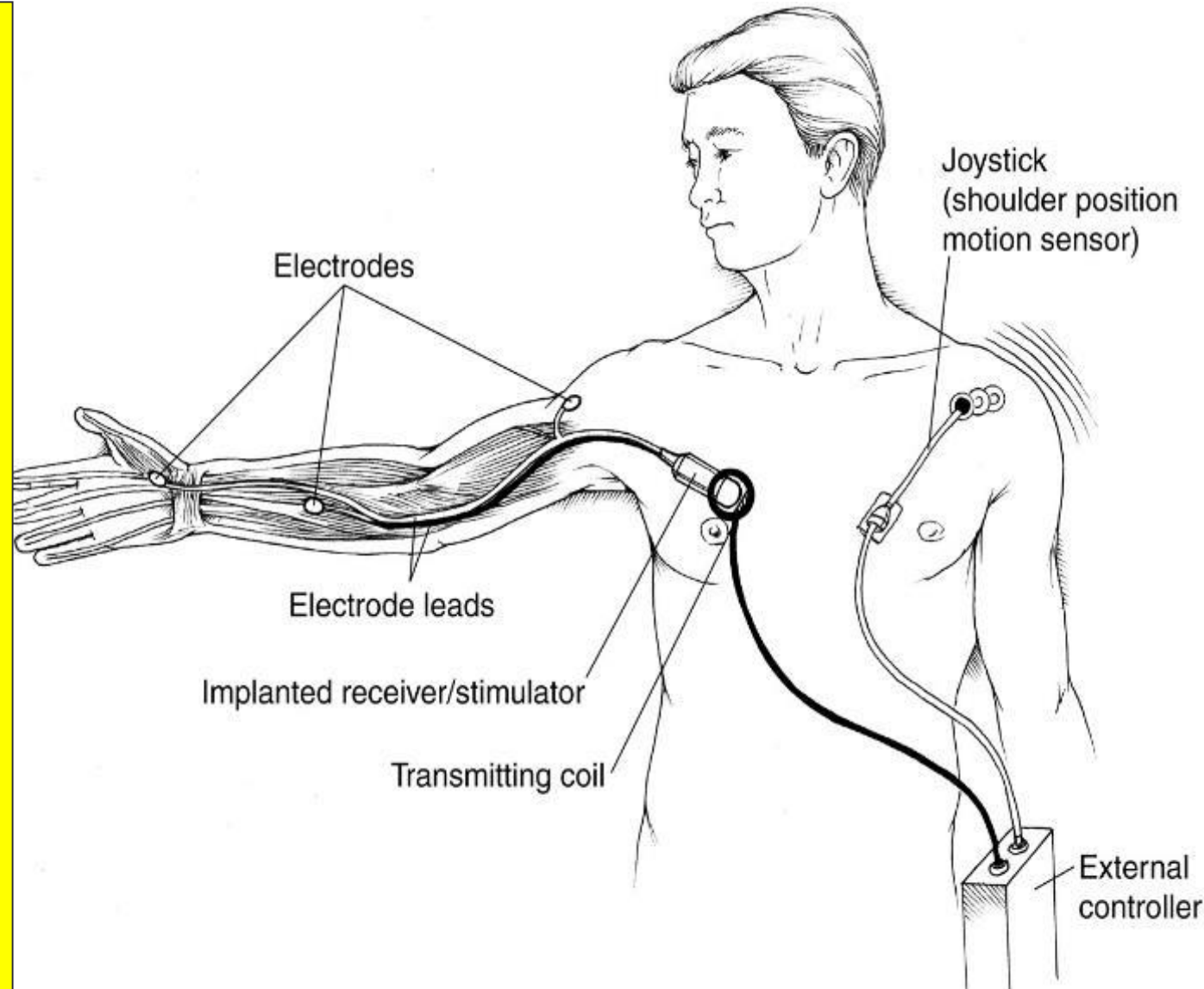
**Stratégie
opératoire**

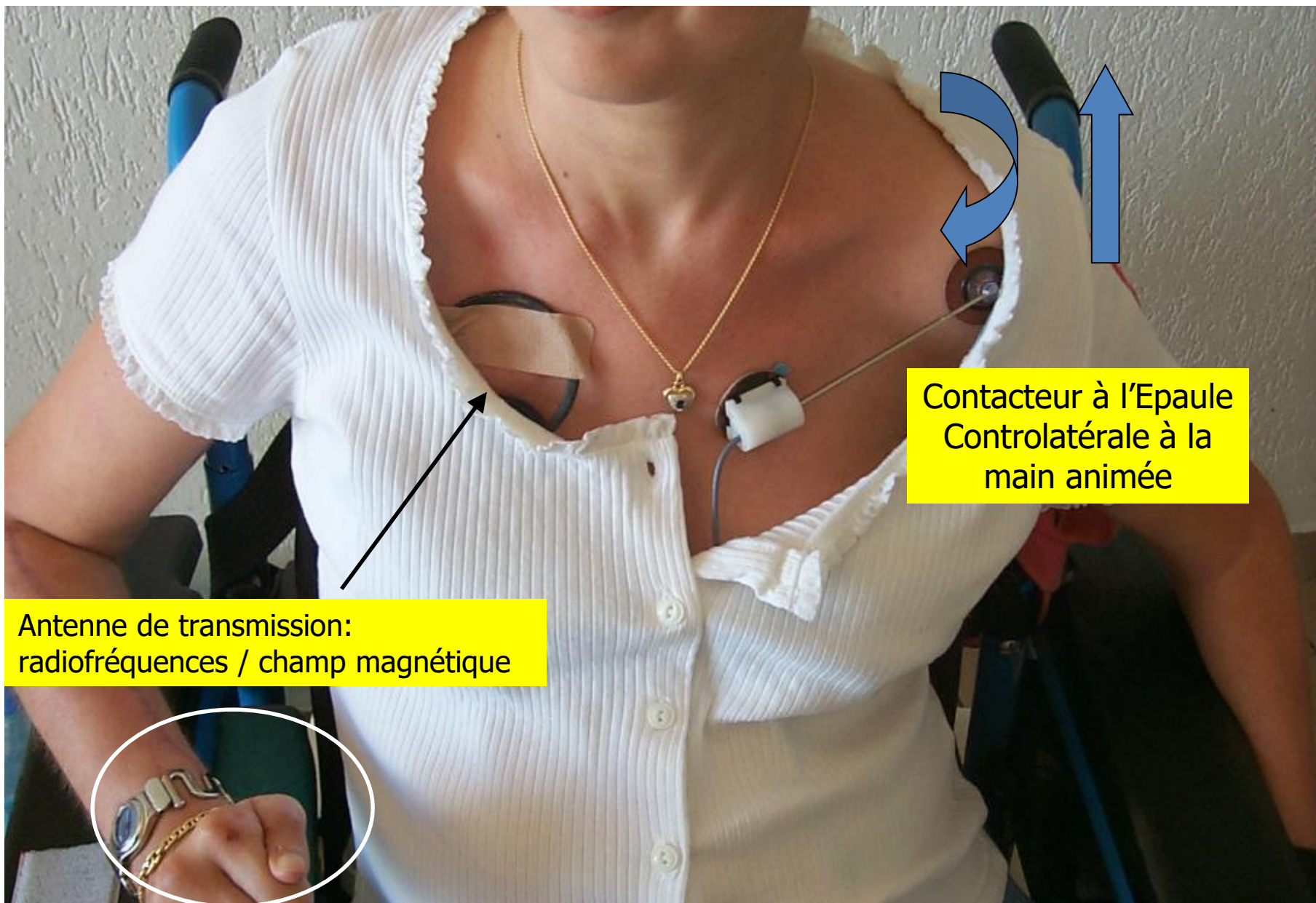
Combinaison

**Programme
FES**

+

**Transferts de
muscles sus
lésionnels**

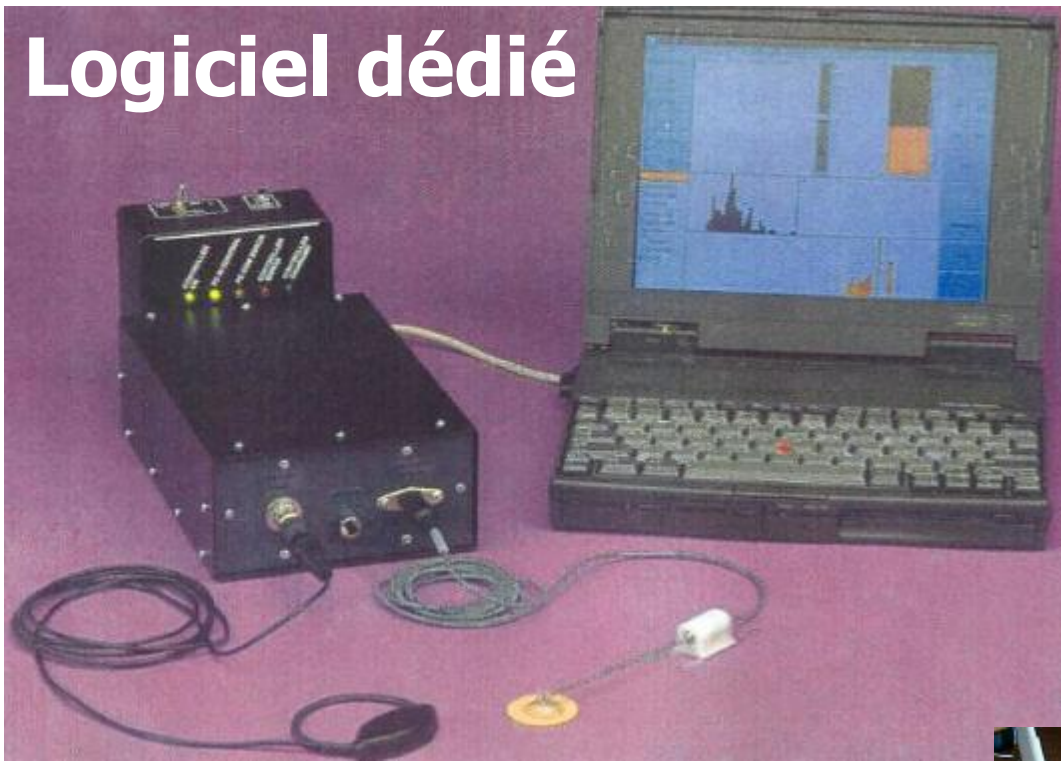




Antenne de transmission:
radiofréquences / champ magnétique

Contacteur à l'Épaule
Controlatérale à la
main animée

Logiciel dédié



**Collaboration
Ergothérapeute - Médecin**

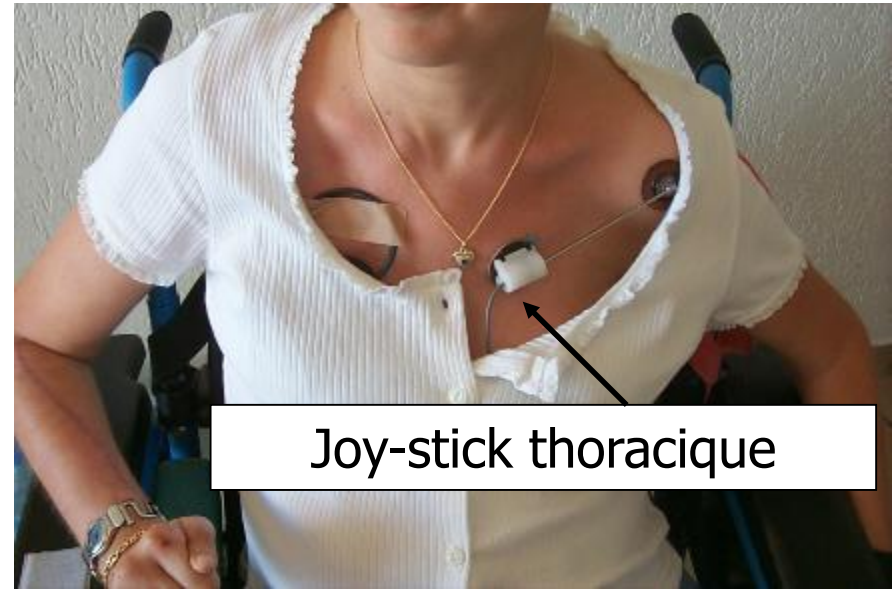
Réglage des synergies musculaires

Réglage de la durée des impulsions

- Biphasiques
- Asymétriques
- A valeur moyenne nulle



Prise latérale



Joy-stick thoracique

Prise digito-palmaire



Ouverture des doigts

Mme C.A 31 ans

- Tétraplégie traumatique depuis 1994
- Niveau lésionnel moteur C5 incomplet, C7 complet
- Droitière
- Activité professionnelle et sportive avant l'AVP

Mme C.A

4 objectifs fonctionnels

- 1. Ecrire**
- 2. Soins du visage et maquillage**
- 3. Boire et manger**
- 4. Se sonder sur cystostomie continente**

Mme C.A

Bon faisceau claviculaire du Major Pectoralis

Oct 2000: Restauration de l'extension active du coude droit (transfert deltoïde post ->triceps)->Néotriceps à 2+

Janv 2001: Ostéotomie de dérotation de l'AB à visée pronatrice

Mars 2001: Implantation de la neuroprothèse de stimulation

Electrodes	Sites d'implantation
1	Abductor Pollicis Brevis
2	Adductor Pollicis Longus
3	Flexor Pollicis Longus
4	Extensor Pollicis Longus
5	Extensor Digitorum Communis
6	Flexor Digitorum Sublimis
7	Flexor Digitorum Profundis
8	Extensor Carpi Rad. ou Ulnaris

Pouce

Doigts

Poignet

Bon faisceau claviculaire du Major Pectoralis

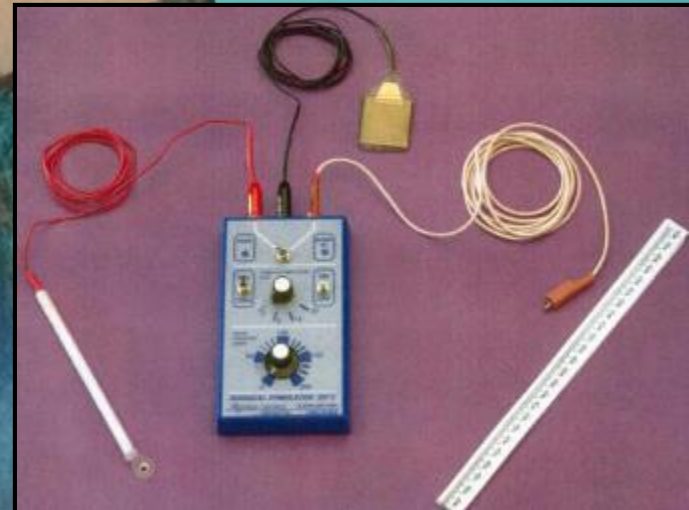
Oct 2000: Restauration de l'extension active du coude droit (transfert deltoïde post -> triceps)-> Néotriceps à 2+

Janv 2001: Ostéotomie de dérotation de l'AB à visée pronatrice

8 électrodes à implantation épimysiale

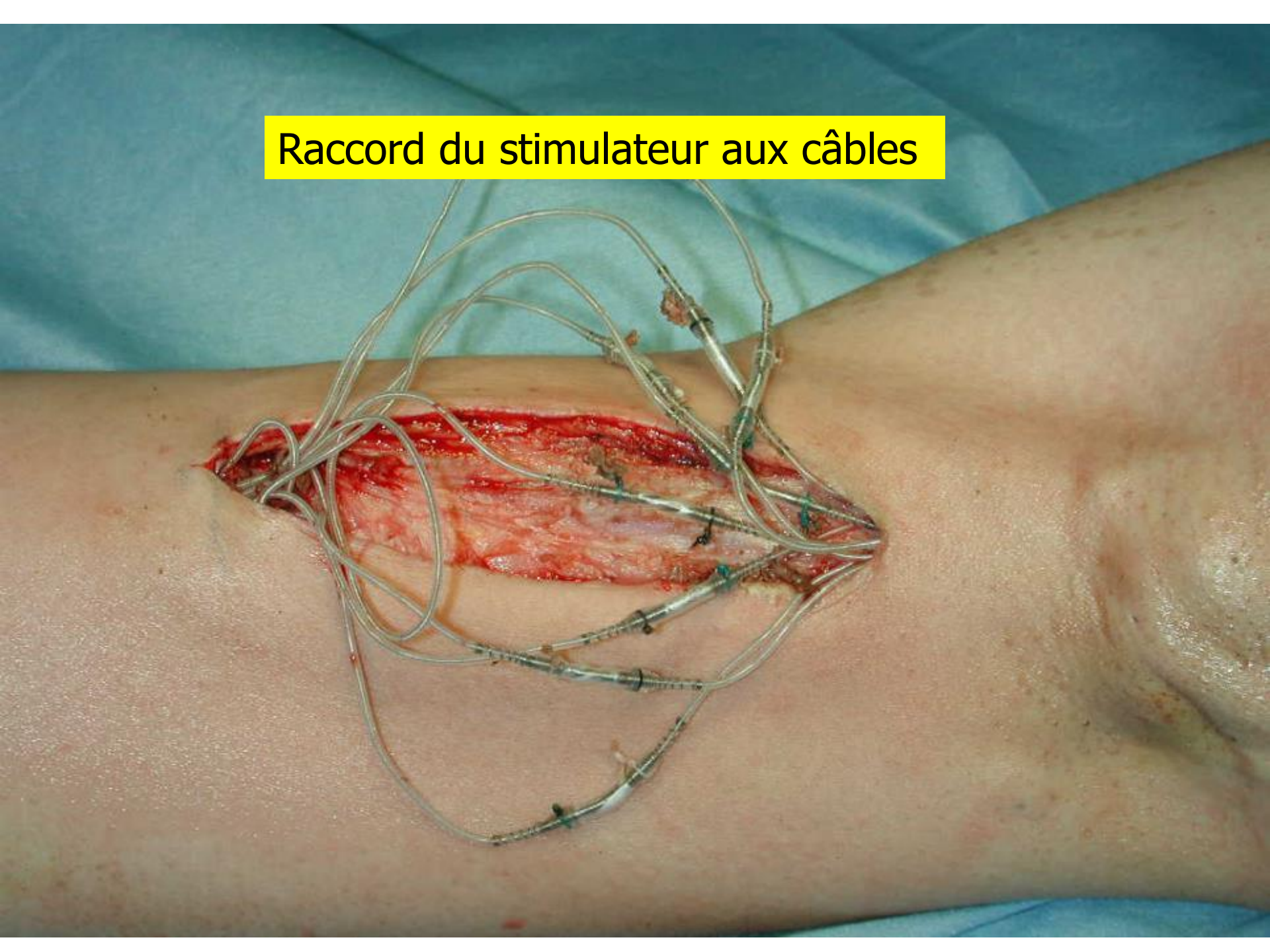
Tunnelisation des câbles dans le bras

Implantation du stimulateur



Impulsions électriques, biphasiques, asymétriques, à valeur moyenne nulle

Raccord du stimulateur aux câbles



Sous AG

Durée: environ 6 heures

Immobilisation postopératoire : 3 sem

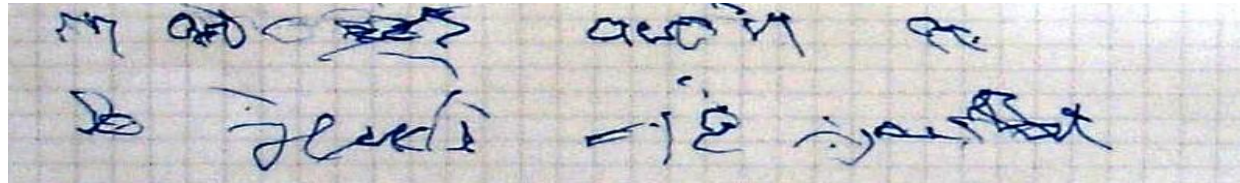
Procédure d'électrostimulation progressive: en amplitude et en force

Procédure d'adaptation des synergies: 3 à 6 semaines

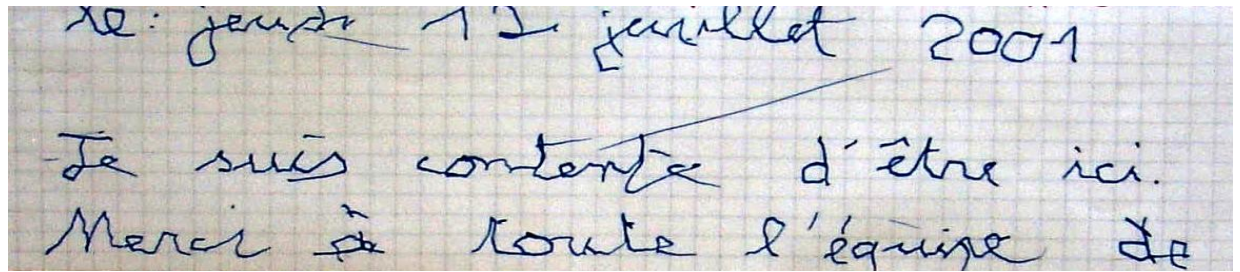
Freehand (Neurocontrol, Cleveland)



SANS stimulation



AVEC stimulation



Historique

1991 Palo-Alto: 1ère implantation rapportée

Niveau lésionnel C6 / Groupe 1

1998 Cleveland: Freehand consacrée comme solution pour les impasses.

Gorman: 12% des tétraplégiques.

Septembre 2001: Arrêt de la commercialisation près de 200 implantations dans le monde

En France: 6 implantations dont 5 par le Dr Jacques Teissier
La dernière date du 13/03/2001

Hier, le FREEHAND

Une réponse crédible à l'attente de 300 personnes présentant une tétraplégie haute

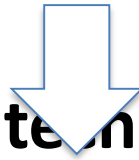
51 personnes interrogées

- A accru la force des préhensions
- A permis à 98% des participants de saisir et de déplacer plus d'objets
- 78% des participants ont pu réaliser seuls au moins 3 tâches
- 97% des sujets ont affirmé qu'ils recommanderaient la neuroprothèse à d'autres
- 91% ont affirmé que la neuroprothèse avait amélioré leur qualité de vie

Aujourd'hui le FREEHAND

Une responsabilité éthique non assumée

Dépendance technologique



Rupture technologique

Acceptabilité

• *Balance bénéfico-risque*

- Solution filaire:
 - 1 stimulateur \leftrightarrow pls câbles
 - 1 câble pour chaque muscle
 - électrodes sous la peau

• *Stigmatisation*

- Contacteur très visible
- Signal de commande imparfait
- Encombrement de l'unité de contrôle
- et visibilité de tous les dispositifs externes

• *Appropriation dans l'usage*

- Absence de l'écosystème
- Donner du temps au patient
- Assurer un suivi fonctionnel et psychologique

Risque d'extériorisation
de l'électrode cutanée



Freehand de 2nd Generation

1. Câbles de stimulation supplémentaire
2. Disparition du contrôleur externe

Implantable joint angle transducer (IJAT)

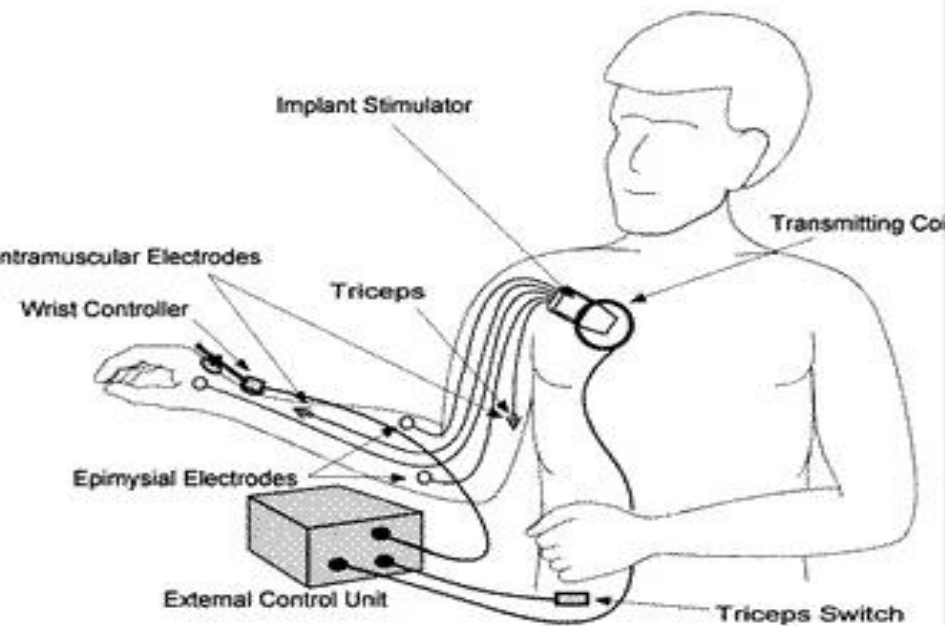
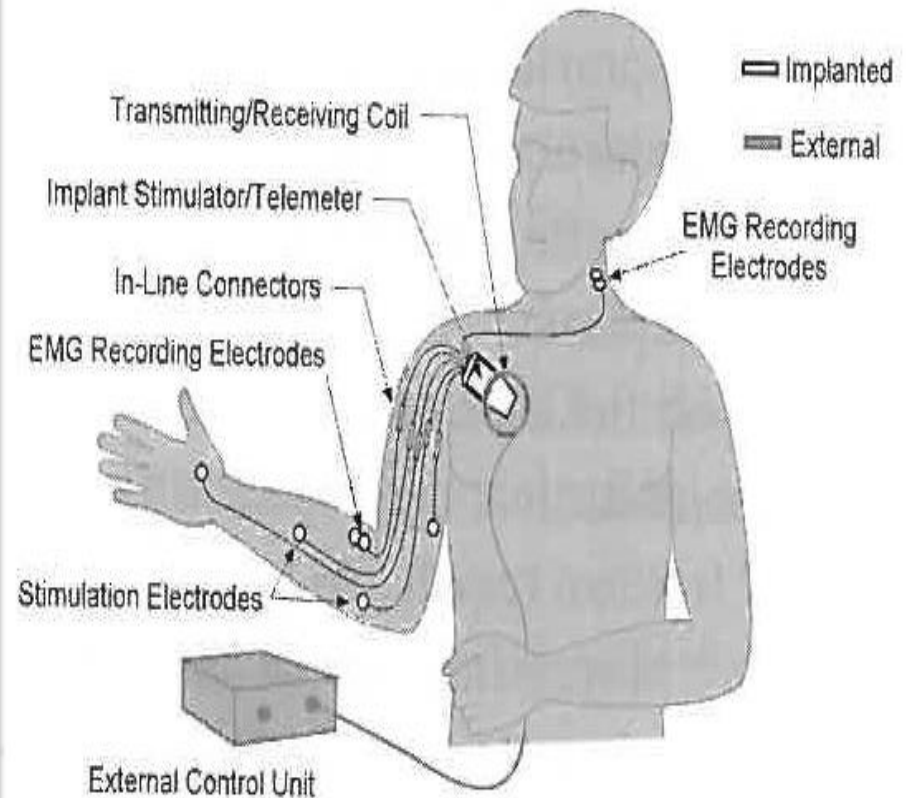


Figure 1.
Augmented hand-grasp neuroprosthesis.

EMG recording electrodes



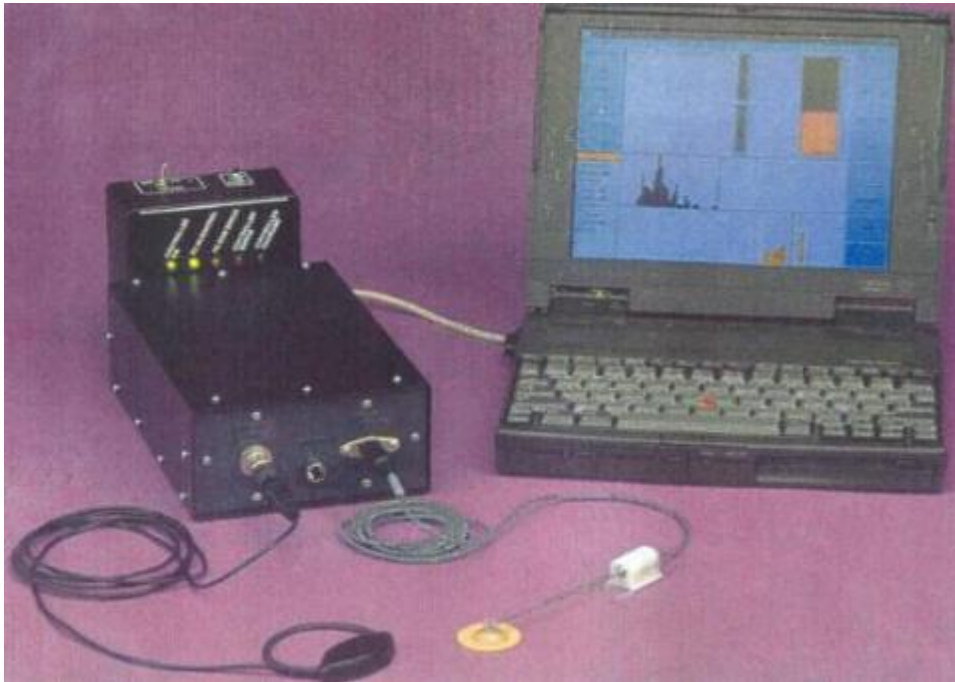
Demain, s'il fallait concevoir une nouvelle neuroprothèse

Priorités

- Fatigue musculaire
- Miniaturiser le dispositif

A long terme

- Solution sans fil



Recul de 30 ans d'expérience

- Une frange de la population tétraplégique mal servie par la chirurgie fonctionnelle de transferts tendineux
- Une promesse fonctionnelle avec l'expérience **Freehand**
- Une longévité avérée de l'électrostimulation musculaire par électrodes neurales avec l'expérience **SUAW**

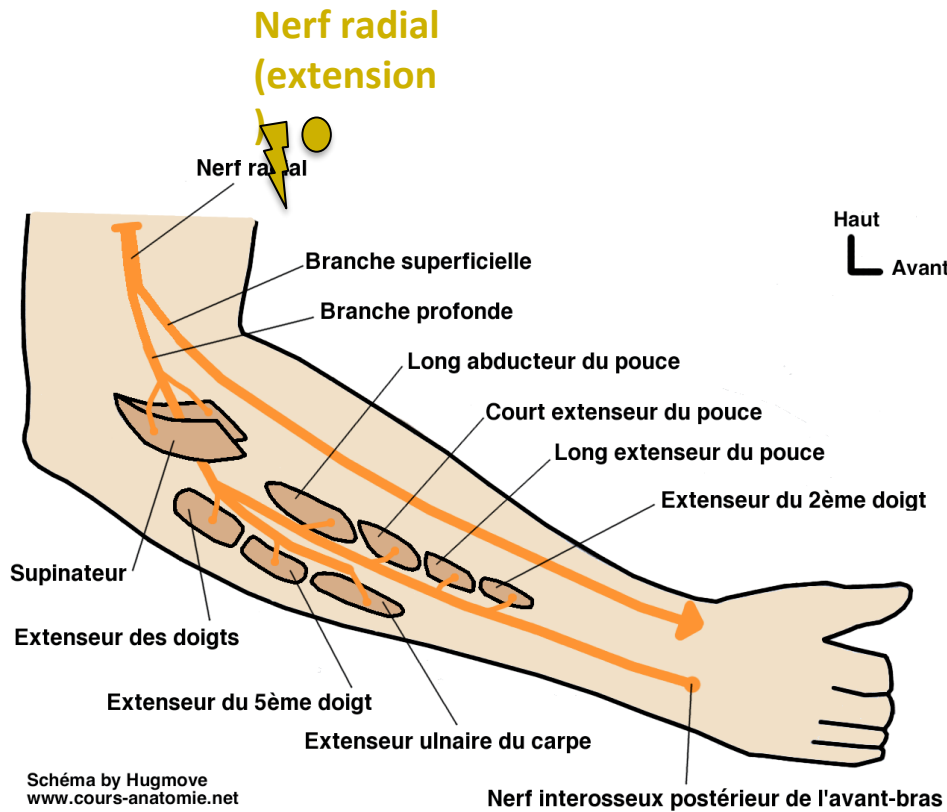
Agilis



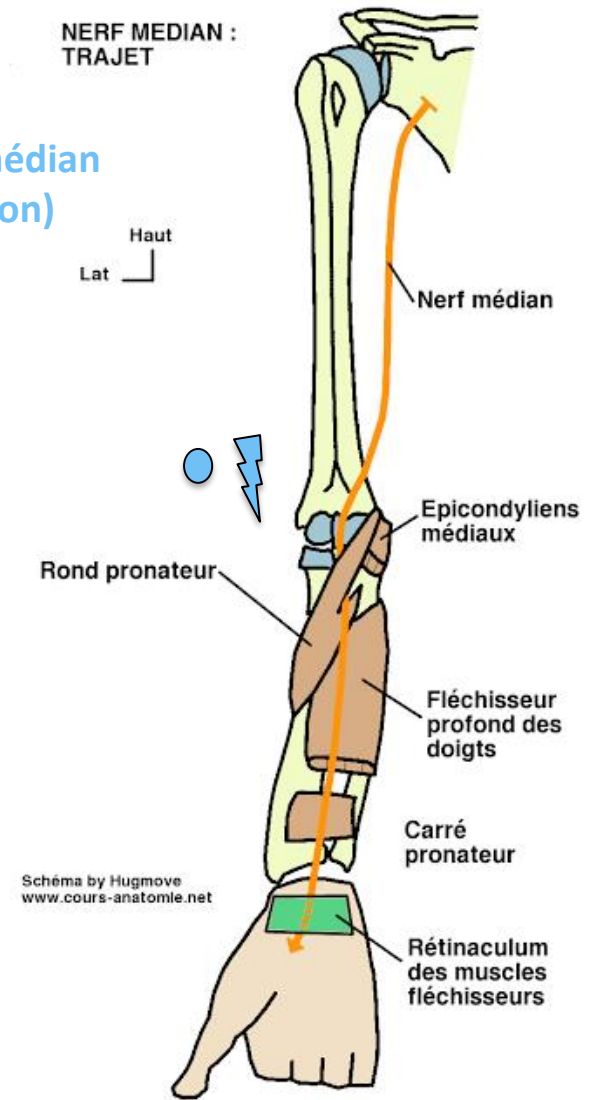
© Project SUAW (2000)

- ✓ Privilégier une solution neurale
- ✓ Réduire le nombre de câbles et d'électrodes
- ✓ Réduire le temps et l'invasivité chirurgicale
- ✓ Enrichir les « ressources » en configurations de stimulation

L'approche neurale



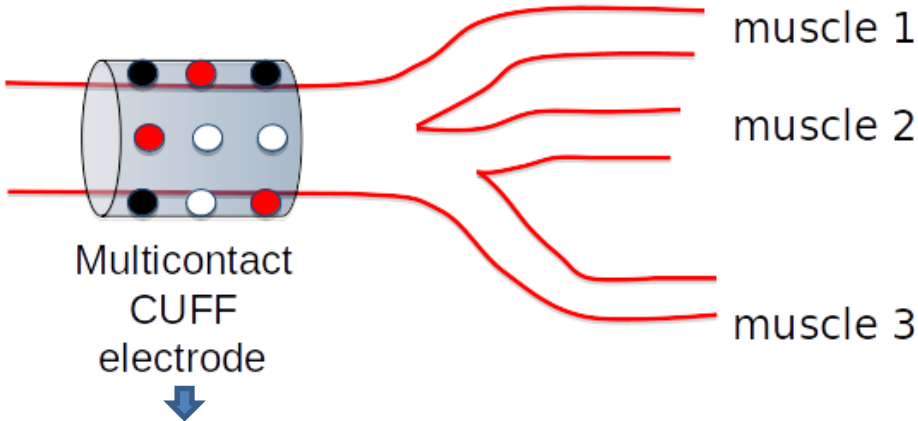
Nerf médian (flexion)



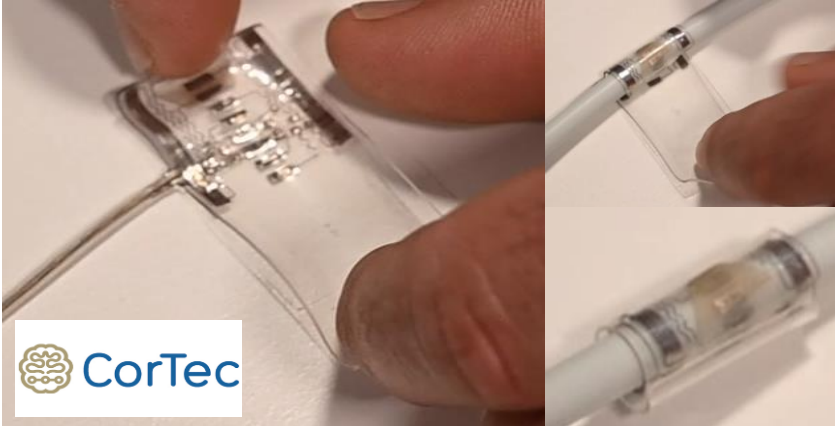
• L'approche neurale sélective au mieux



sinon multi configurée



meilleure distribution spatiale des courants

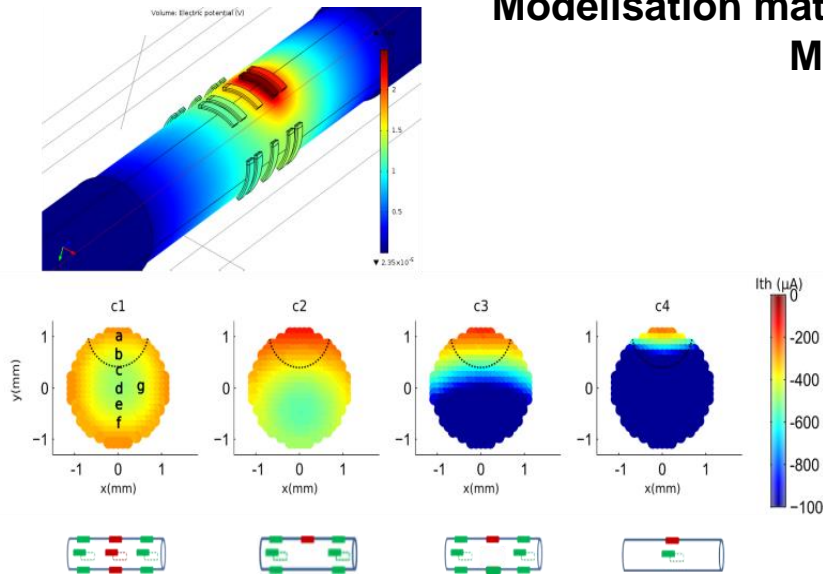


• Une distribution spatiale riche et diversifiée des courants

Expérimentation animale sur le nerf vague

Expérimentation animale sur le nerf sciatique

Modélisation mathématique des électrodes Multicontact



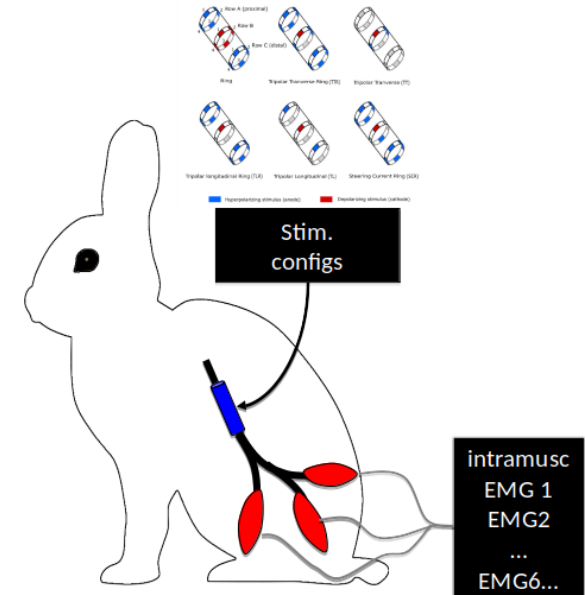
J. Neural Eng. 15 (2018) 046018 (19pp)

<https://doi.org/10.1088/1741-2552/aabeb9>

Model based optimal multipolar stimulation without *a priori* knowledge of nerve structure: application to vagus nerve stimulation

Dali et al, JNE 2018

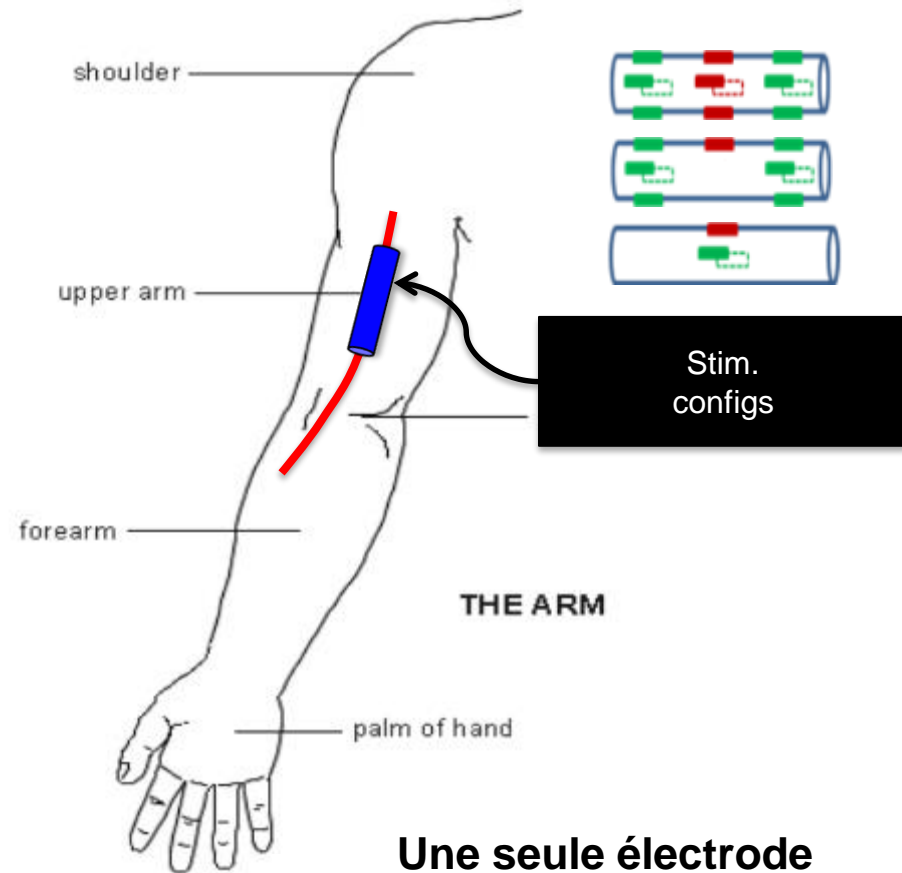
Mélissa Dali^{1,7}, Olivier Rossel^{1,7}, David Andreu¹, Laure Laporte², Alfredo Hernández³, Jérémy Laforet^{1,4}, Eloi Marijon⁵, Albert Hagège⁵, Maureen Clerc⁶, Christine Henry² and David Guiraud¹



Dali et al, PlosOne 2019

Agilis 1 : Tests préliminaires chez 9 sujets tétraplégiques

Zone stérile



**Une seule électrode
implantée pendant 20mn
sous anesthésie
(nerf radial ou médian)**

 **BMC** Part of Springer Nature

Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation

Selective neural electrical stimulation restores hand and forearm movements in individuals with complete tetraplegia

[Wafa Tigra](#), [Mélissa Dali](#), [Lucie William](#), [Charles Fattal](#), [Anthony Gélis](#), [Jean-Louis Divoux](#), [Bertrand Coulet](#), [Jacques Teissier](#), [David Guiraud](#) & [Christine Azevedo Coste](#)

Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 17, Article number: 66 (2020) | [Cite this article](#)

• Agilis 2 et 3 : Critères d'inclusion

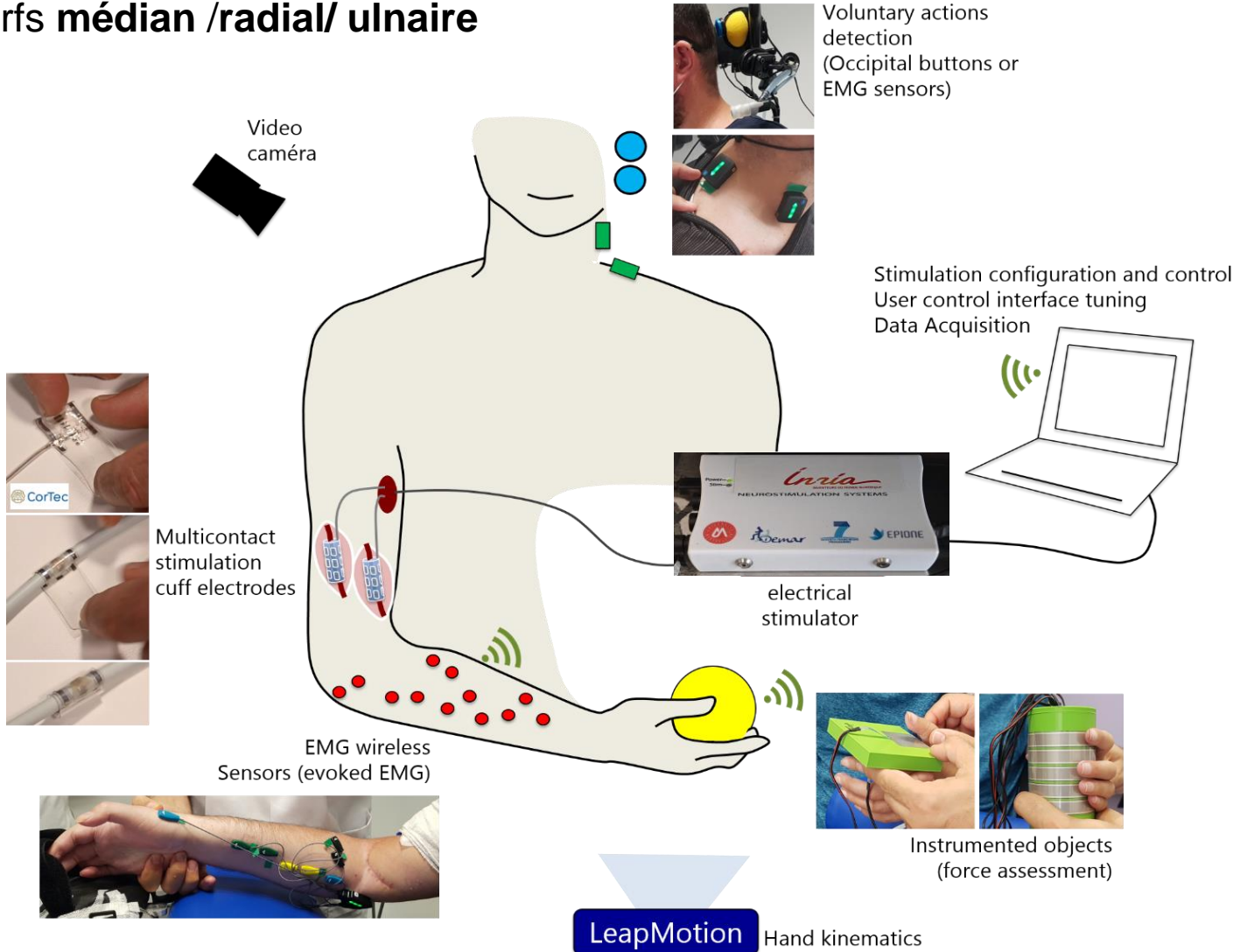
- Age 18 à 65 ans
- Tétraplégie SNL single neurological level \geq C7
- Lésion motrice complète AIS A or B
- Ancienneté de la tétraplégie > 6 mois
- Stabilité neurologique (testing inchangé dans les 6 derniers mois)
- **Non-éligibilité à la chirurgie de transfert tendineux**
 - Groupe 0 ou 1 (classification ICSHT dite de Giens).

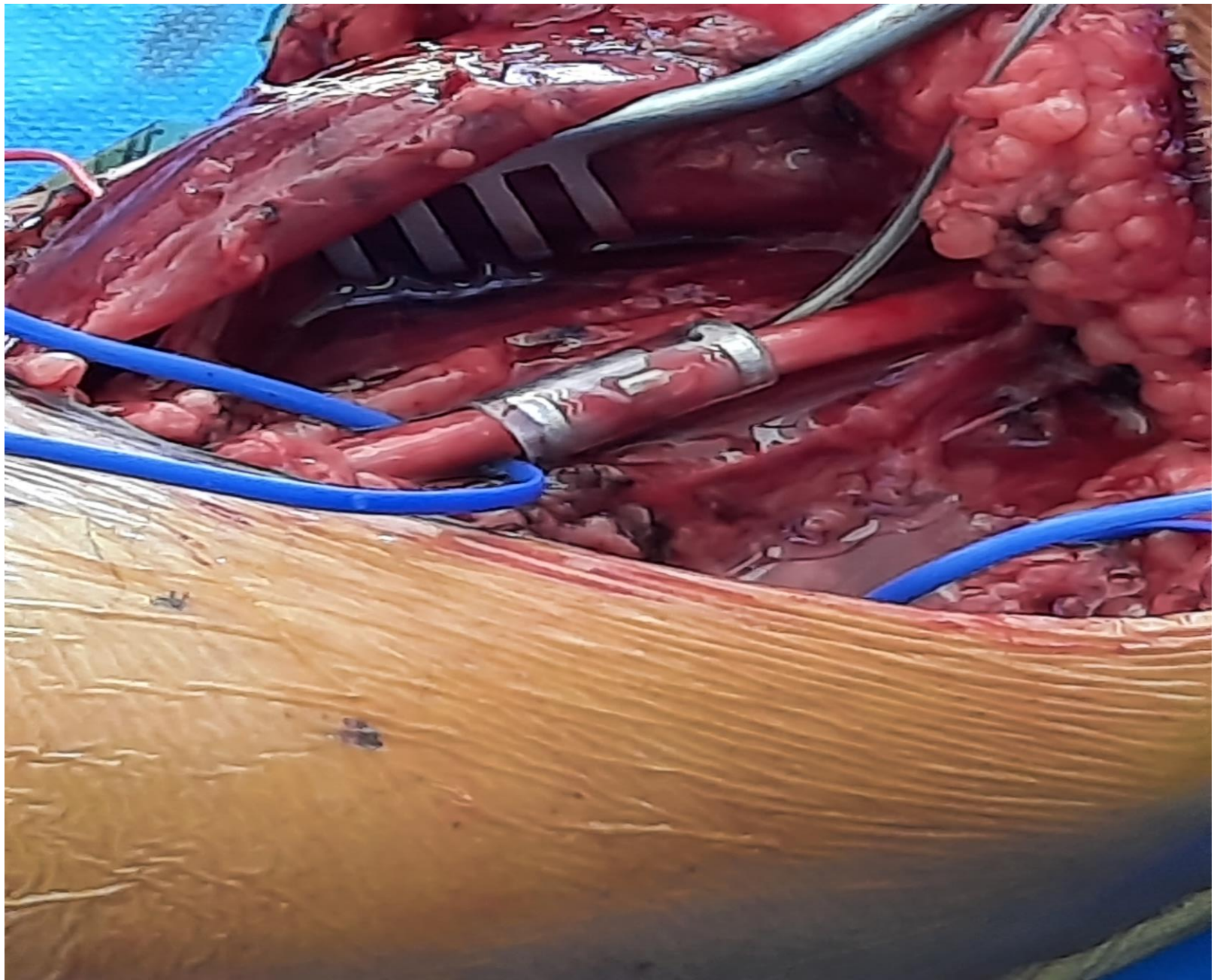
•AGILIS 2 et 3

Implantation d'électrodes percutanées

Pour 2 patients: nerfs **médian / radial**

Pour 2 patients: nerfs **médian /radial/ ulnaire**







Objectifs prioritaires

- Étudier la capacité des électrodes à générer des activations synergiques « utiles » c`ad à produire des préhensions finalisées
- Tester les interfaces de commande volontaire (mouvements ou contractions musculaires)
- S'assurer de l'innocuité de la procédure expérimentale
 - chirurgicale (implantation),
 - post implantation,
 - chirurgicale (explantation)
 - post explantation

Selectivity

• Analyse des mouvements induits par différents configurations de stimulation

Global parameters

Period of stimulation: MEDIAN 38 ms (= 26.3158 Hz) | RADIAL 38 ms (= 26.3158 Hz) | ULNAR 38 ms (= 26.3158 Hz)

Name	Nerve	Current waveform	Cuff mapping	Cathode ratio	Cathode position	Central anode shift
<input type="checkbox"/> TTR	MEDIAN	RECTANGULAR_BIPH...	MULTIPOLAR	10	E1	1
<input type="checkbox"/> TLR	MEDIAN	RECTANGULAR_BIPH...	MULTIPOLAR	10	E1	0

Selected stimulation configuration

Name: TTR Nerve: MEDIAN Waveform: RECTANGULAR_BIPHASIC_ASYMMETRIC

Multipolar configuration

Virtual geometry:

Cuff mapping type: MULTIPOLAR

Cathode position: E1

Central anode shift: +1

Current distribution:

Cathode ratio [1;14]: 10 [Step: 14.3 uA, Max: 3646.5 uA]

Transverse symmetry [-6;6]: +6

Balance [-6;6]: 0

Longitudinal symmetry [-6;6]: 0

Proximal Distal

E1 [10] E2 [0] E3 [0] E4 [0] E5 [0] E6 [0] E7 [6]

R1 [2] R2 [2]

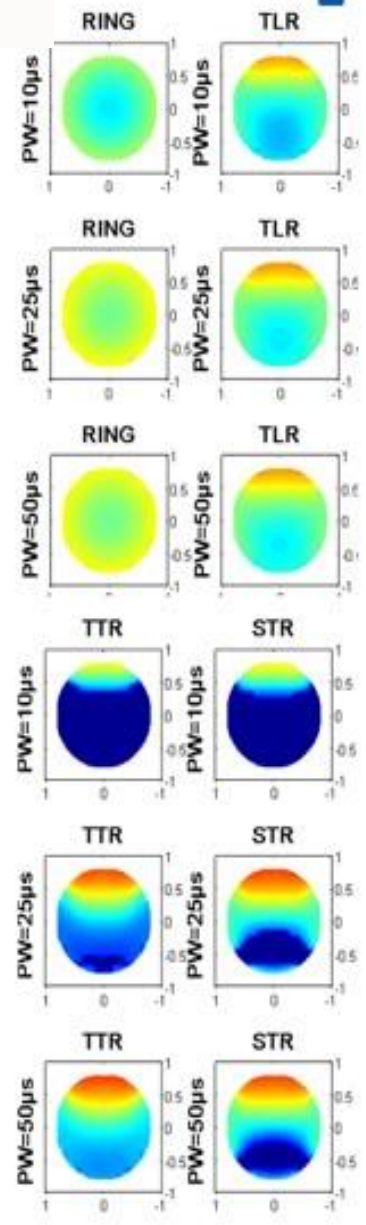
Ratio distribution has been adjusted!

Current waveform configuration

Cathode current [0;255]: 0 $[(0 \times 255)/256] \times 10 \times 1.43 \mu\text{A} = 0 \mu\text{A}$

Pulse-width [0;255]: 50 $[(50 \times (511 \times 1 \mu\text{s}))/256] = 99 \mu\text{s}$

Interstim [0;255]: 101 $[(101 \times (127 \times 2 \mu\text{s}))/256] = 100 \mu\text{s}$



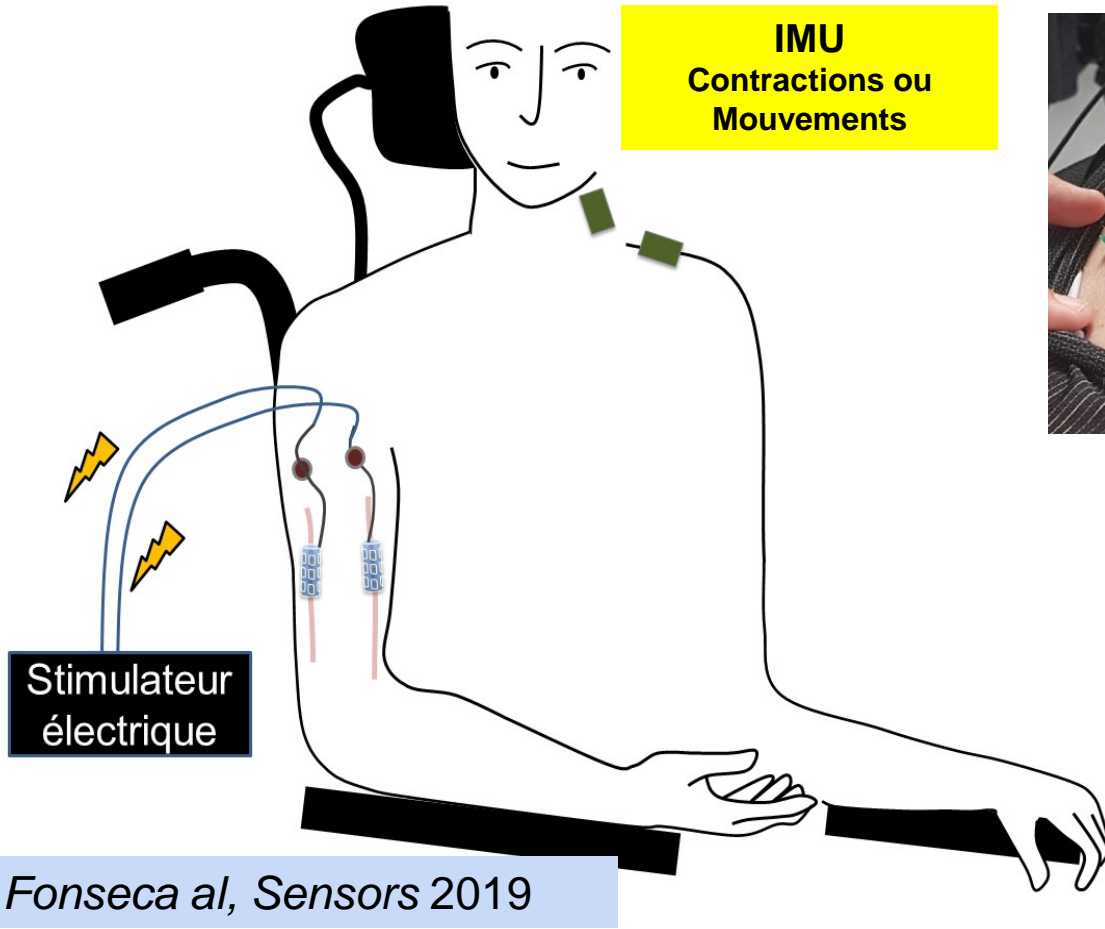
•Configurations et préhensions

P1

P2



Commandes



En alternative



Open Access Article



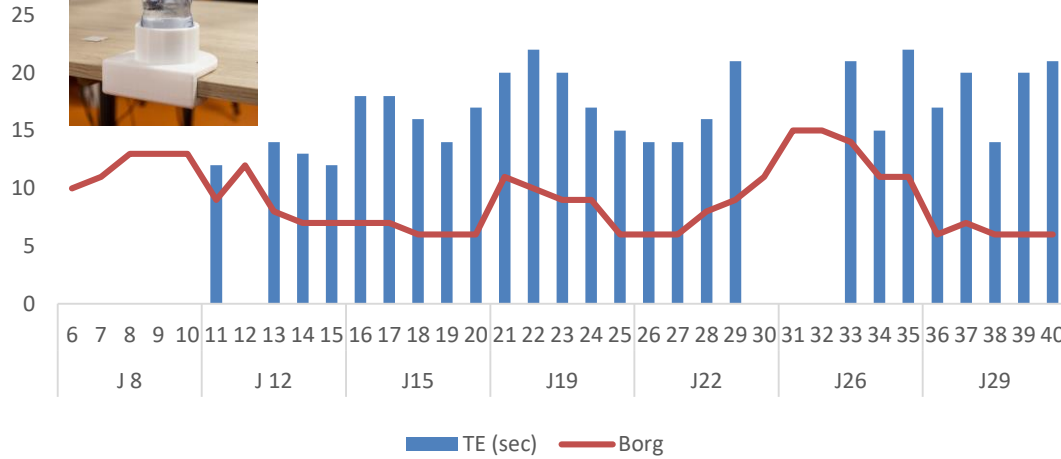
Assisted Grasping in Individuals with Tetraplegia: Improving Control through Residual Muscle Contraction and Movement

by Lucas Fonseca^{1,2,*}, Wafa Tigra^{2,3}, Benjamin Navarro⁴, David Guiraud², Charles Fattal⁵, Antonio Bo¹, Emerson Fachin-Martins⁶, Violaine Leynaert⁷, Anthony Gélis⁷ and Christine Azzevedo-Coste²

¹ LARA, Department of Electrical Engineering, University of Brasilia, Brasilia 70919, Brazil
² INRIA, University of Montpellier, 34095 Montpellier, France
³ NXXX, 78153 Sophia Antipolis, France
⁴ LIRMM, University of Montpellier, 34095 Montpellier, France



Préhension de bouteille



TACHES IMPOSEES

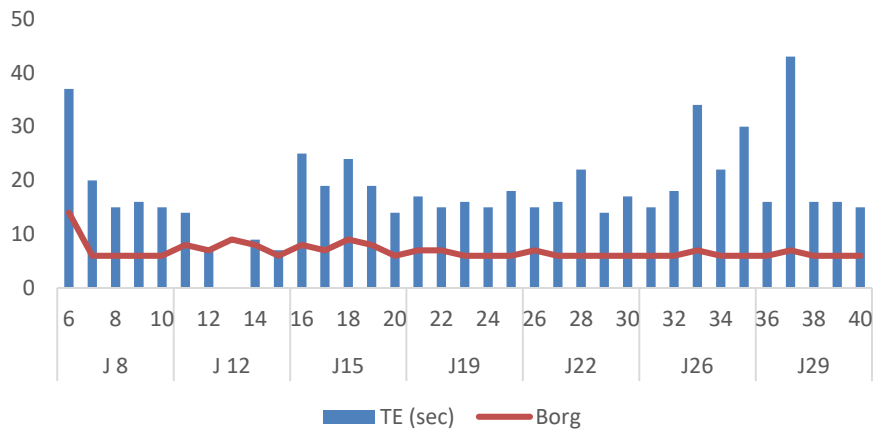
COMMENT PERCEVEZ-VOUS L'EFFORT EFFECTUÉ ?

- 6
- 7 TRÈS TRÈS LÉGER
- 8
- 9 TRÈS LÉGER
- 10
- 11 LÉGER
- 12
- 13 NI LÉGER NI DUR
- 14
- 15 DUR
- 16
- 17 TRÈS DUR
- 18
- 19 TRÈS TRÈS DUR
- 20

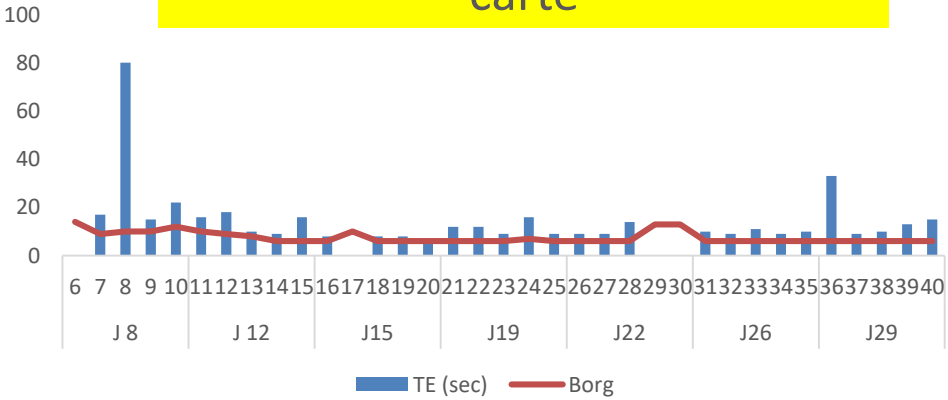


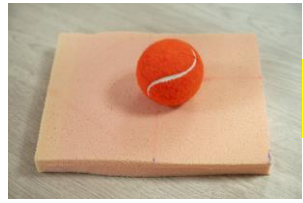
TACHES IMPOSEES

Préhension d'une fourchette

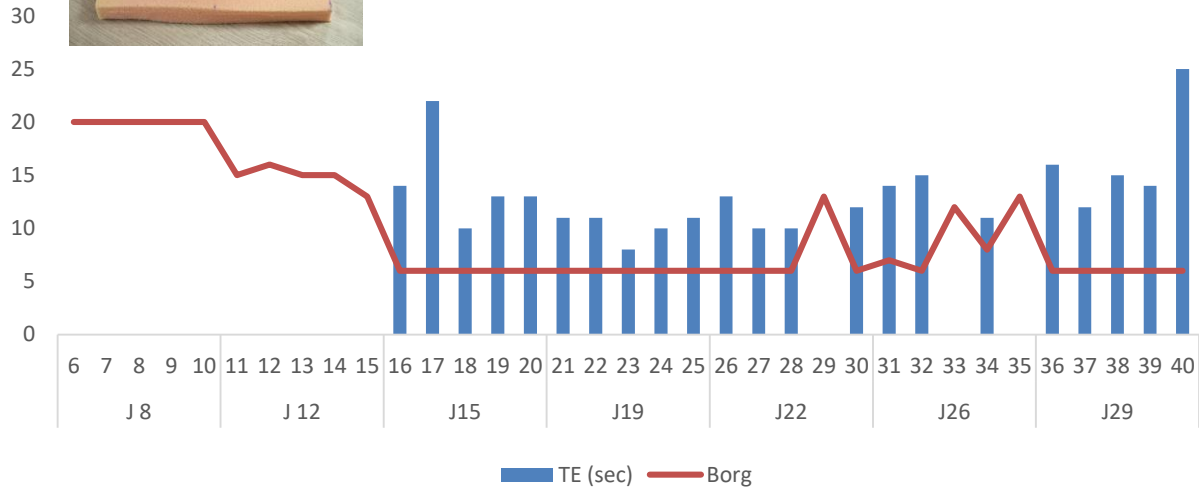


Préhension et introduction d'une carte





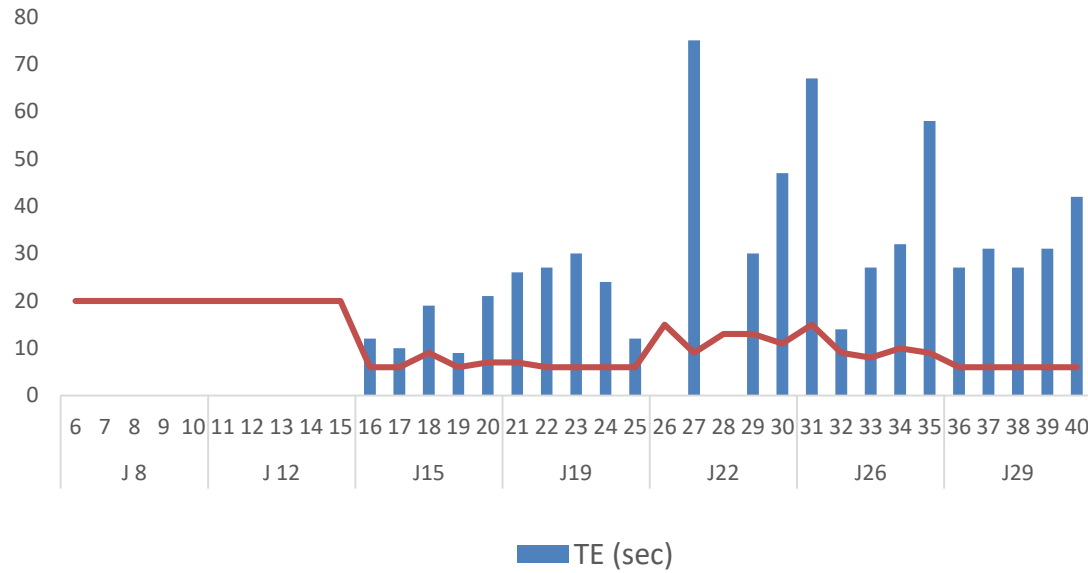
réhension d'une balle en mousse



TACHES
IMPOSEES



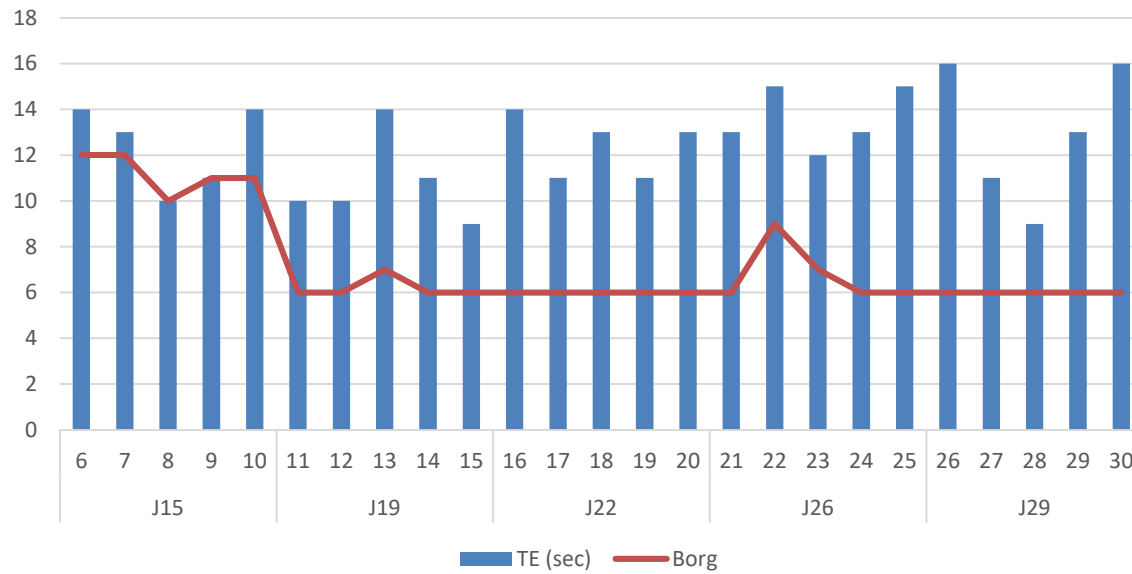
Appui sur bouton Ascenseur



TACHES IMPOSEES



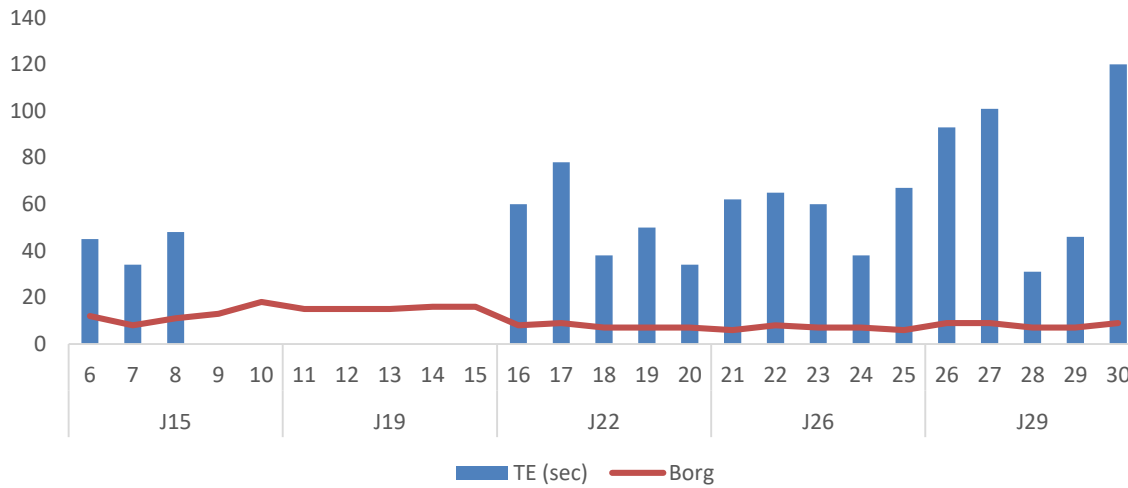
Ouverture d'une poignée



TACHES CHOISIES



Ecriture d'une phrase sur clavier



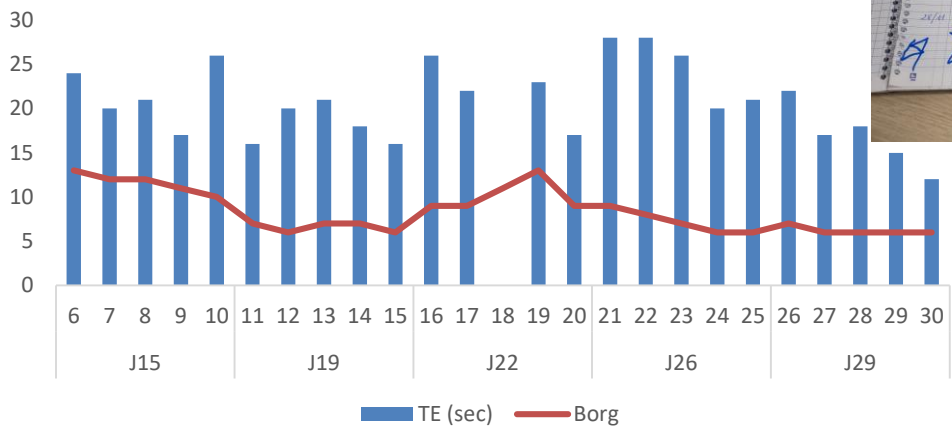
TACHES CHOISIES



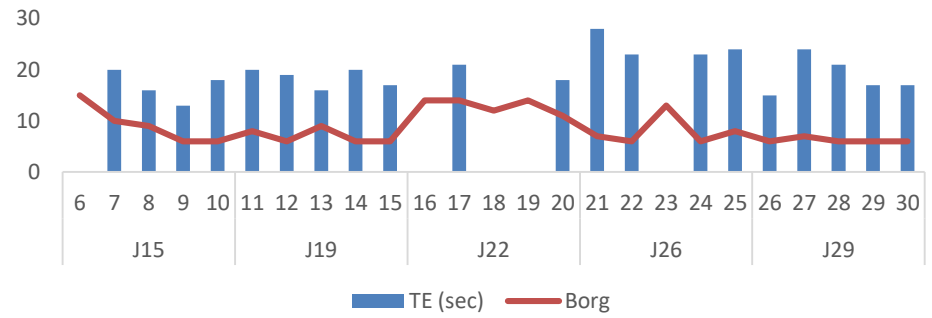
Signature



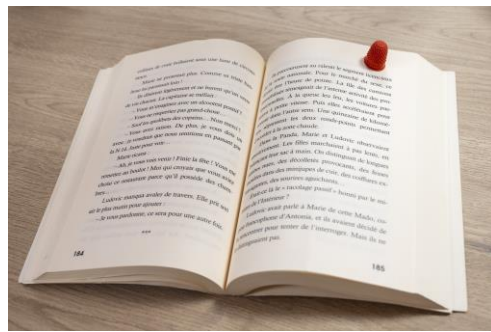
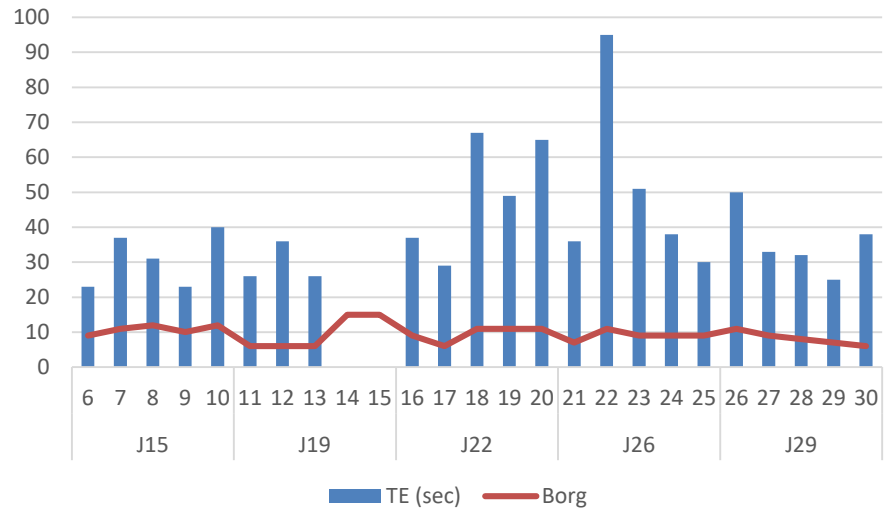
TACHES CHOISIES



Désinsérer une brosse électrique et la porter au visage



Tourner 5 pages d'un livre



Mesure Canadienne du Rendement Occupationnel MCRO à J12 **SANS ELECTROSTIMULATION**

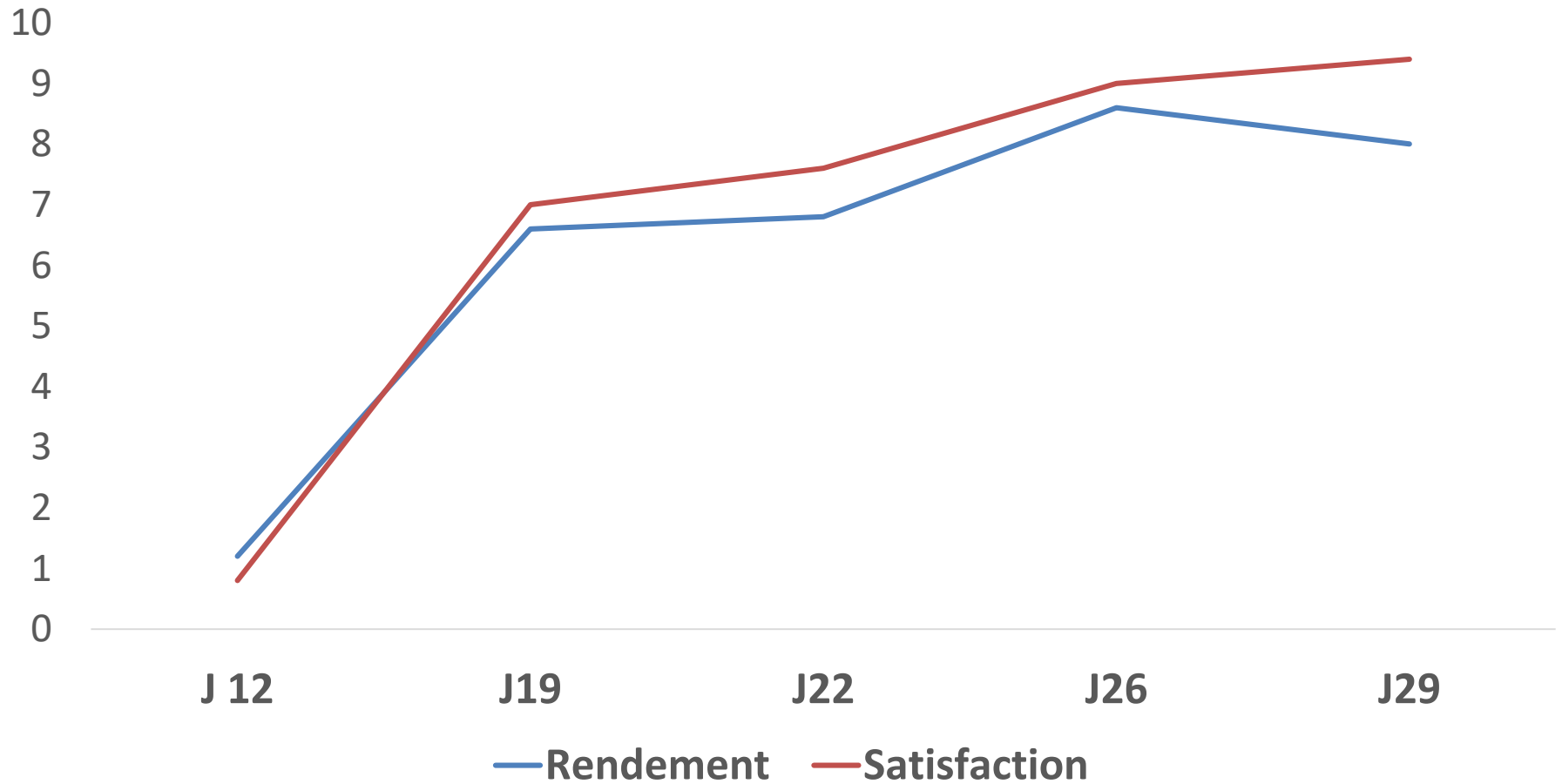
	Description précise : objet, critères de finalisation de la tâche, critères de réussite
Tâche 1	Ouvrir et fermer une porte à l'aide d'une poignée (demande motivée par l'expérience vécue d'avoir été bloqué en chambre et d'avoir glissé de son FR lors d'une tentative d'ouverture de la porte)
Tâche 2	Taper une phrase sur un clavier dans Word avec un stylet adapté (demande motivée par le souhait de pouvoir communiquer par écrit faute de pouvoir le faire manuellement). La phrase choisie est « Je suis libre ».
Tâche 3	Appliquer une signature <u>reproductible</u> avec un stylo (demande motivée par le souhait de pouvoir appliquer l'expression de sa propre identité sur un document officiel administratif)
Tâche 4	Utiliser seul une brosse à dents électrique en la retirant, en la portant au visage puis en la reposant sur son socle de recharge (demande motivée par son souhait d'assurer seul son hygiène buccale)
Tâche 5	Tourner successivement 5 pages d'un livre posé sur la table (demande motivée par son amour de la lecture à laquelle il ne peut pas s'adonner librement à l'heure actuelle.

	Score d'importance (1 « sans importance » et 10 « extrêmement important »)
Tâche 1	8
Tâche 2	6
Tâche 3	7
Tâche 4	6
Tâche 5	6

	Score de rendement (1 « incapable d'exécuter la tâche » et 10 « capable d'exécuter parfaitement la tâche »)
Tâche 1	3
Tâche 2	2
Tâche 3	0
Tâche 4	1
Tâche 5	0

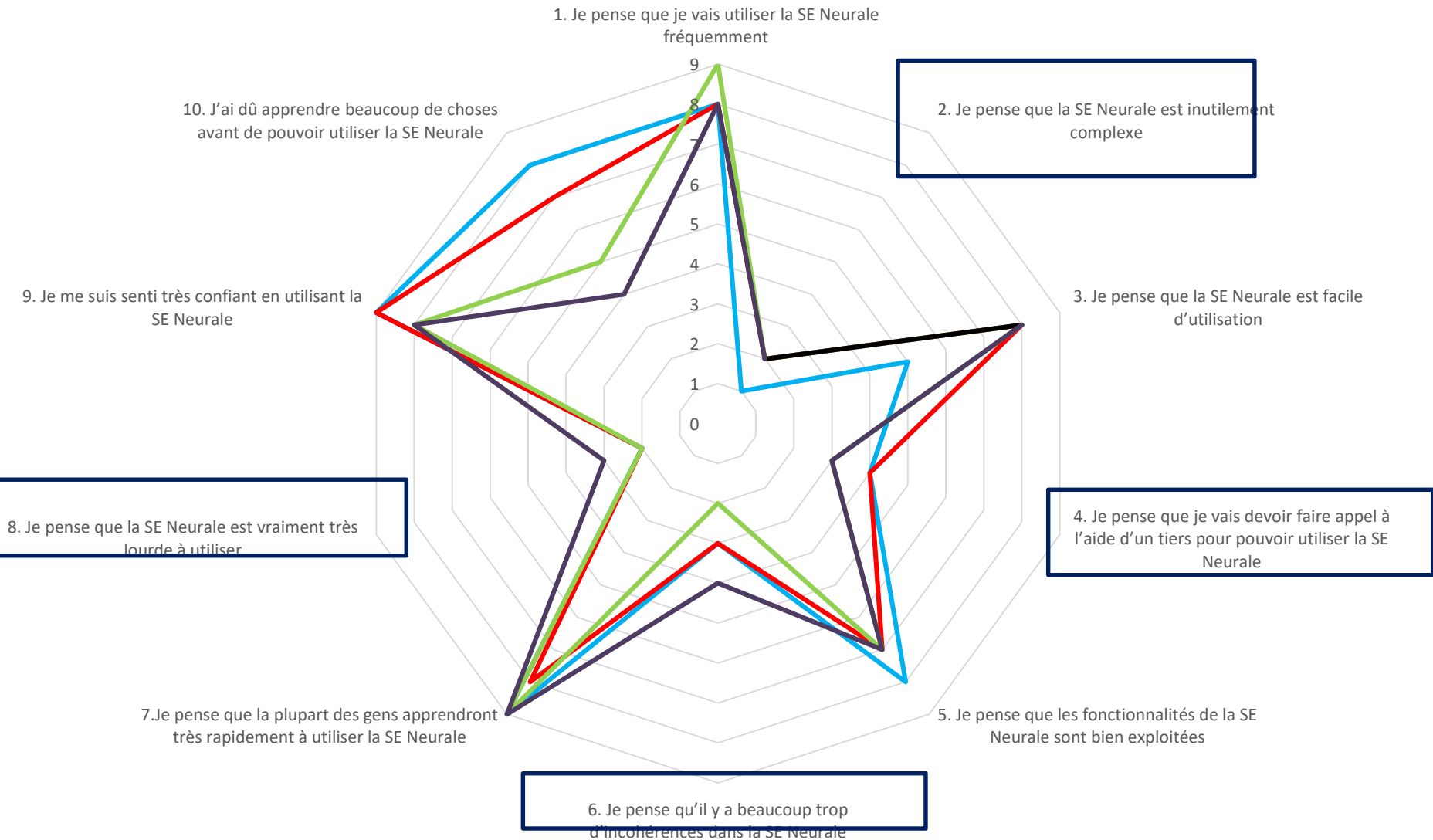
	Score de satisfaction (1 « pas satisfait du tout » et 10 « extrêmement satisfait »)
Tâche 1	3
Tâche 2	1
Tâche 3	0
Tâche 4	0
Tâche 5	0

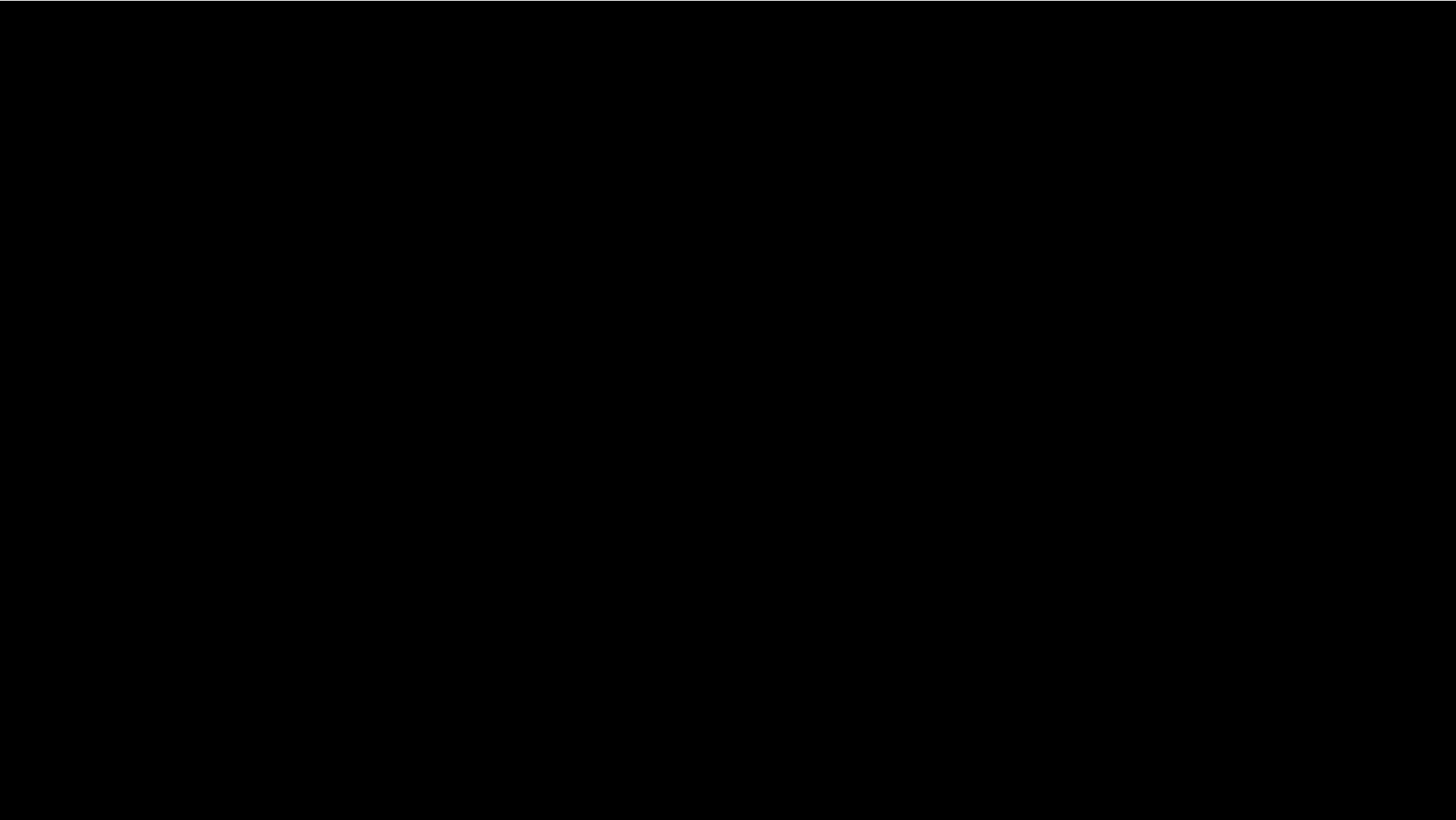
Mesure de Rendement Occupationnel pour les tâches choisies par le patient



SUS System Usability Scale

— J 8 — J15 — J22 — J29








scientific reports

Check for updates

OPEN **Activating effective functional hand movements in individuals with complete tetraplegia through neural stimulation**

Christine Azevedo Coste^{1,2,3}, Lucie William¹, Lucas Fonseca¹, Arthur Hiairassary^{1,2}, David Andreu^{2,3}, Antoine Geffrier⁴, Jacques Teissier⁴, Charles Fattal^{1,4} & David Guiraud^{1,2,5} 

Journal of Neurotrauma

ORIGINAL ARTICLE

CLINICAL STUDIES

Restoring Hand Functions in People with Tetraplegia through Multi-Contact, Fascicular, and Auto-Pilot Stimulation: A Proof-of-Concept Demonstration

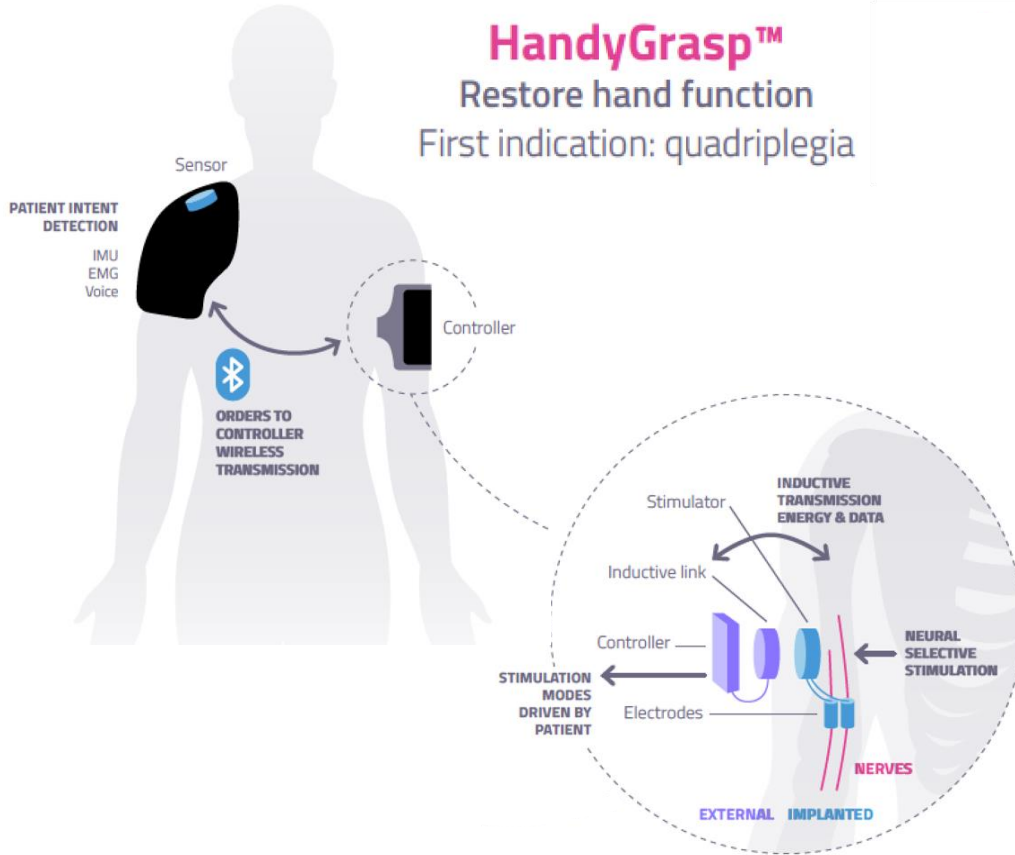
Charles Fattal^{1,2,*}, Jacques Teissier³, Antoine Geffrier⁴, Lucas Fonseca², Lucie William², David Andreu⁵, David Guiraud^{2,5} and Christine Azevedo-Coste²

Upcoming AI-HAND project (42 months)

European
Innovation
Council



HandyGrasp™
Restore hand function
First indication: quadriplegia



1st In-Man en 2025

