



Homme réparé, homme augmenté?

Univ. Lyon 1, septembre 2025

Nathanaël Jarrassé, PhD, HDR

Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR), CNRS UMR7222
Sorbonne Université, Paris
Equipe **IRIS** (Interface and Robotics for Sensorimotor Interaction)

Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique



- > **60** academics (Lect./Prof., researchers, engineers)
- > **140** PhD and post-docs
- **6** teams / **4** major research topics:
 - *Design and control of robots*
 - *Neurosciences and cognition*
 - *Human-Machine interaction*
 - *Machine learning*

AGATHE  **Inserm**
Institut national de la santé et de la recherche médicale

Assistance to **G**esture with **A**pplication to **T**HERapy

Expert gesture



Pathological gesture



Thématique de recherche

- Améliorer le contrôle par la compréhension du contrôle moteur humain

Contrôle de prothèse basé mouvement (CCC)



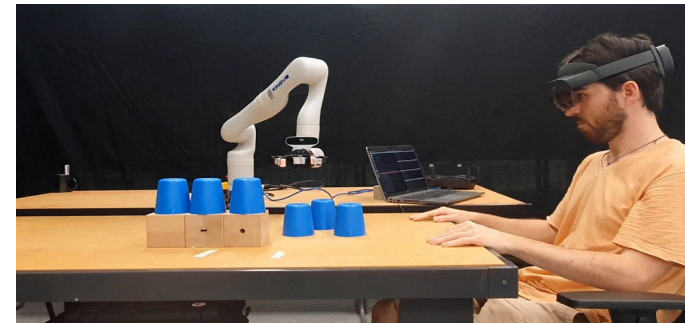
Contrôle de prothèse basé EMG fantôme



Contrôle d'exosquelettes basé mouvement des bras



Contrôle de bras d'assistance basé compensation (CCC)



A. Poignant



O. Dubois



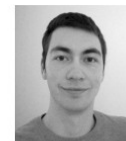
J. Kulozik



A. Vaulchier



Y. Lu



S. Mick



R. Gibaud



P. Nocito

Team Smart ArM (SAM) @Cybathlon 2024

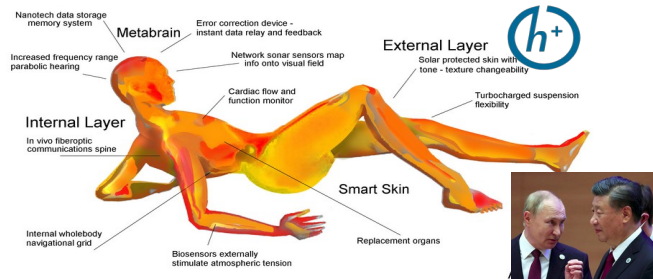


Série documentaire retraçant
défis techniques et parcours
humain de l'équipe →



Une nouvelle ère pour le corps?

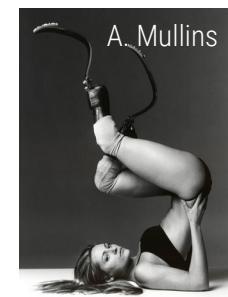
- Omniprésence des idéologies transhumanistes



- Diffusion des pratiques anthropotechniques



- Imaginaire technologie et culture SF et de la performance

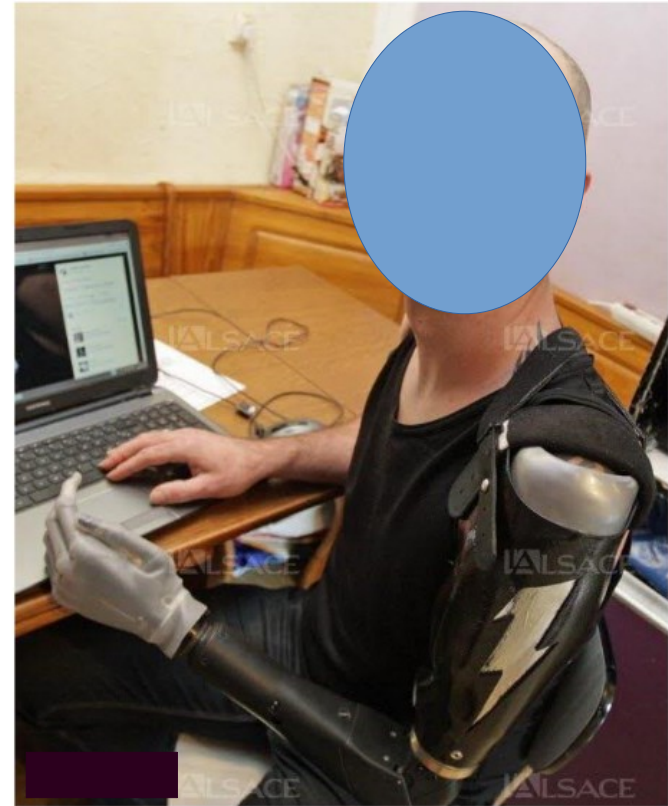


Quelles technologies pour réparer/augmenter l'homme?

- Avancées médicales / chirurgicales
 - Médicaments
 - Thérapies géniques
 - Chirurgie (esthétique, réparatrice, correctrice)
- Avancées technologiques
 - Dispositifs de correction “simples” (*lunettes, aide auditives, corset, cannes...*)
 - Implants de régulation végétative (*pacemaker, pompe à insuline, coeur artificiel...*)
 - Robotique
 - Exosquelettes
 - Prothèses robotiques
 - (BCI)

La robotique interpelle l'imaginaire de l'augmentation plus que des avancées technologiques ou médicales “concrètes”

Quelle est la réalité de “l’homme augmenté” aujourd’hui?



Les technologies numériques permettraient-elles déjà de confondre “l’homme augmenté” et “l’homme réparé”?

Etat des lieux des technologies robotiques

Exosquelettes



Homme partiellement réparé / rééduqué



Homme "assisté" pas augmenté!

- L'objet technologique existe (hors du laboratoire)
- Réponse à des besoins très spécifiques
- Importants verrous scientifiques (*partage du contrôle*)

Etat des lieux des technologies robotiques

- Explosion de l'offre commerciale pour l'assistance à opérateur industriel
 - Compensation du poids des bras / d'outils
 - Assistance au maintien postural / Prévention des postures dangereuses et TMS

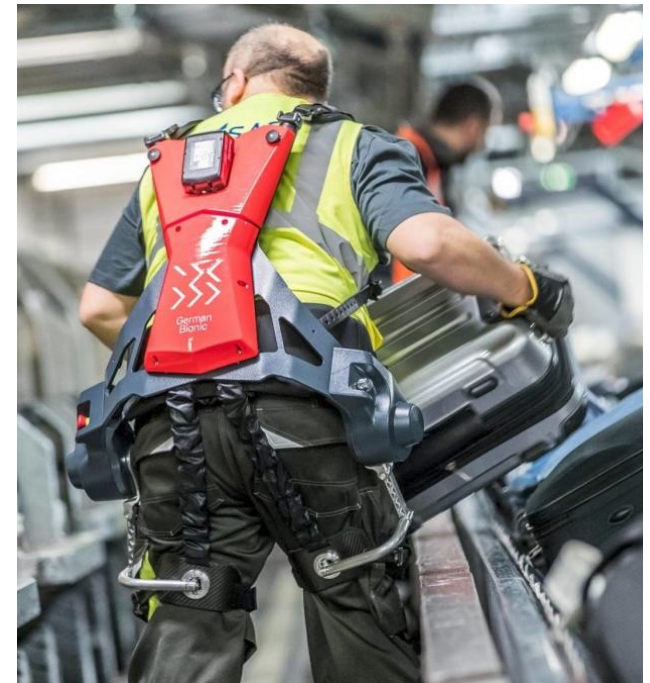
Paexo Ottobock



Laevo



Cray X German Bionics



Etat des lieux des technologies robotiques

Exosquelettes

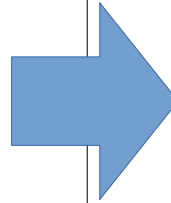


ReWalk
Robotics

Homme partiellement réparé



REX
BIONICS



Pneumatic Exoskeleton, Mihailo Pupin Institute, 1969

- L'objet technologique existe (hors du laboratoire)
- Réponse à des besoins très spécifiques
- Importants verrous scientifiques (*partage du contrôle*)

Etat des lieux des technologies robotiques

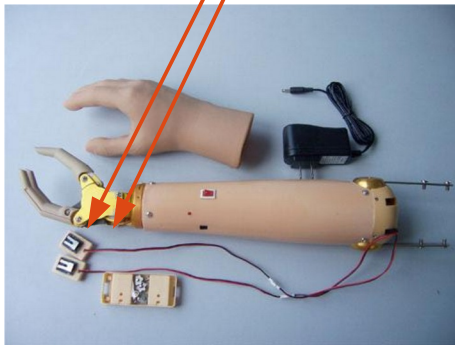
- Exosquelettes d'assistance à la marche des patients paraplégiques



Etat des lieux des technologies robotiques

Prothèses

- Membre supérieur

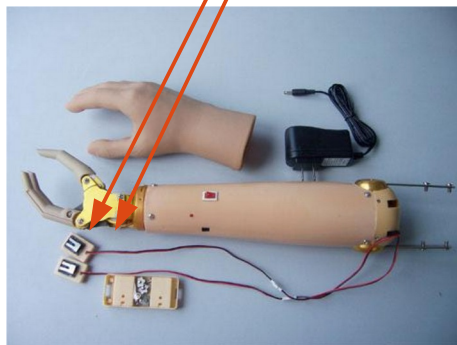
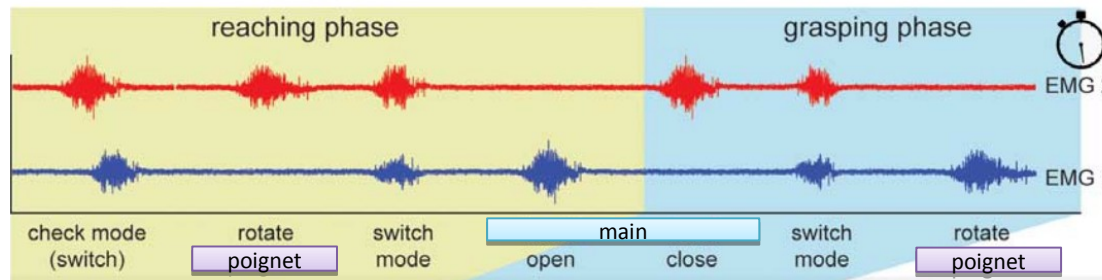


Etat des lieux des technologies robotiques

Prothèses

- Membre supérieur

- Décalage énorme entre matériel et possibilité de contrôle
- Absence de retour sensoriel
- Approches handicapantes, cognitivement complexes



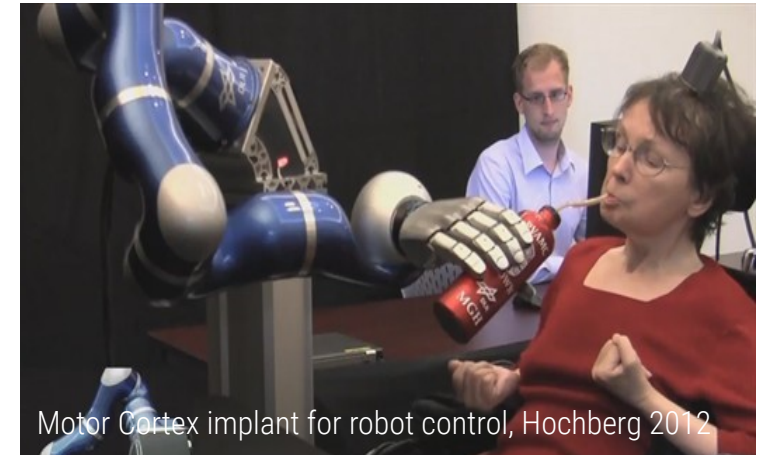
Touch Bionics



Etat des lieux des technologies robotiques

Prothèses

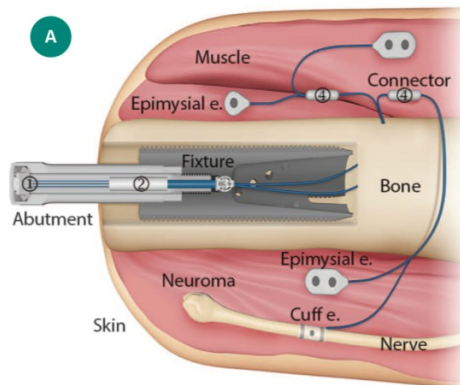
- Avancées de la recherche: **les besoins du domaine**
 - la connexion physique au corps
 - la captation de signaux physiologiques (pour extraire des signaux de contrôle)
 - la restitution d'information (pour restaurer artificiellement des sensations)



→ Ces besoins sont les mêmes pour tous les dispositifs d'assistance (exosquelettes, prothèses de membre, robots "assistants", etc.)

La connexion au corps : évolutions récentes

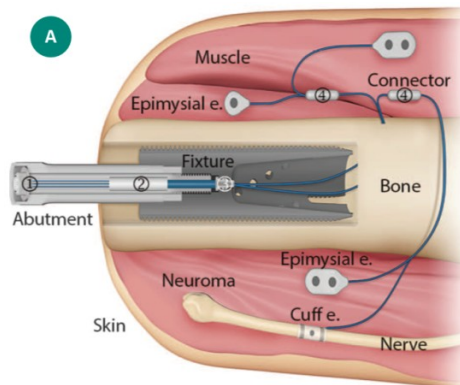
- De l'emboiture couvrante ... à l'ostéointégration



Ortiz-Catalan, et al. STM (2014)

La connexion au corps : évolutions récentes

- De l'emboiture couvrante ... à l'ostéointégration



Ortiz-Catalan, et al. STM (2014)

Pros

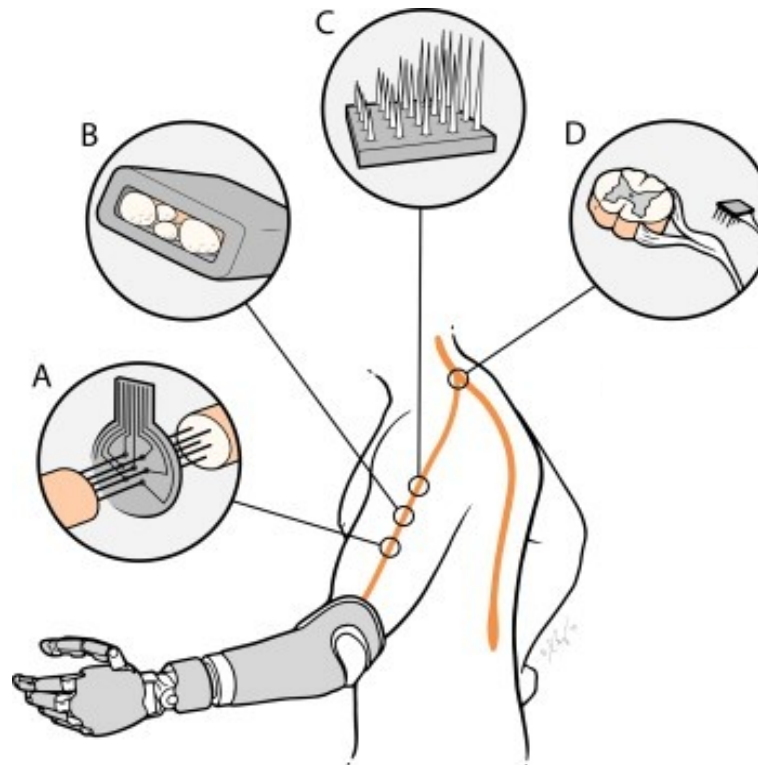
- Mobilité du membre résiduel
- Réduction pressions, sudation et irritations
- Robustesse

Cons

- invasivité
- risques infectieux (limité)?

La captation des signaux : évolutions récentes

- Des électrodes de surface (sEMG) ... vers les électrodes implantées



A| Regenerative electrodes.

B| Extra-fascicular electrodes.

C| Intra-fascicular electrodes.

D| Dorsal root ganglion implant.

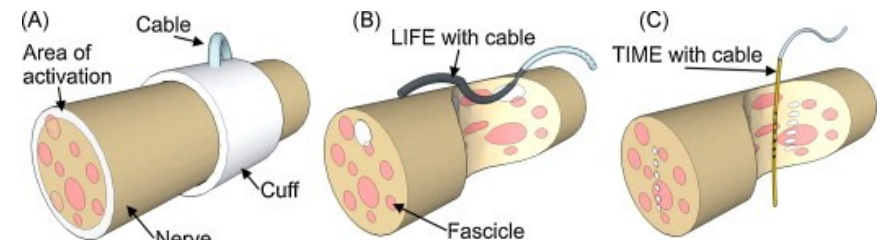
Saal, et al. Neuropsychologia (2015)

Pros

- amélioration nette de la mesure des signaux EMG
- robustesse aux déplacement des masses musculaires

Cons

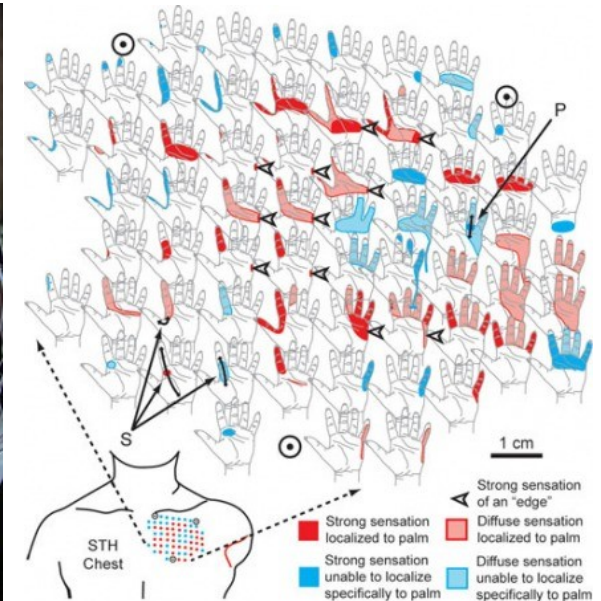
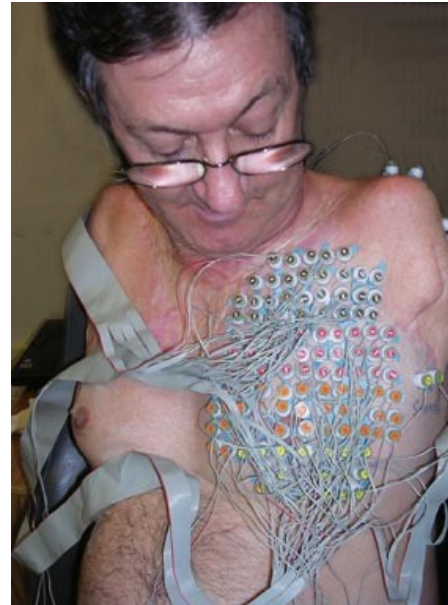
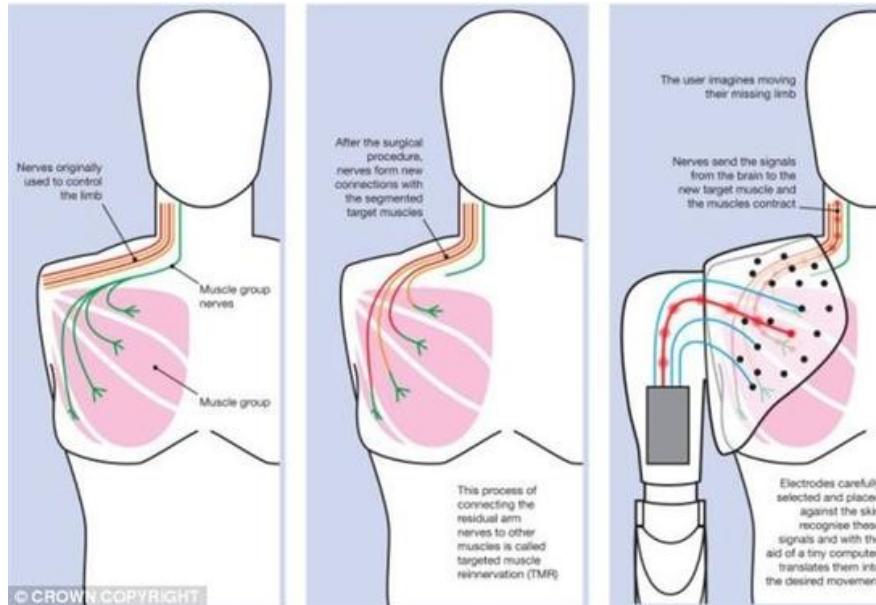
- invasivité, connectique inside/outside ?
- durée de vie, visibilité à long terme, biocompatibilité (gliose?)
- mesure toujours "grossière"



Boretius, et al. Science (2010)

La captation des signaux : évolutions récentes

- De la mesure classique ... à la création chirurgicale de sites de mesures



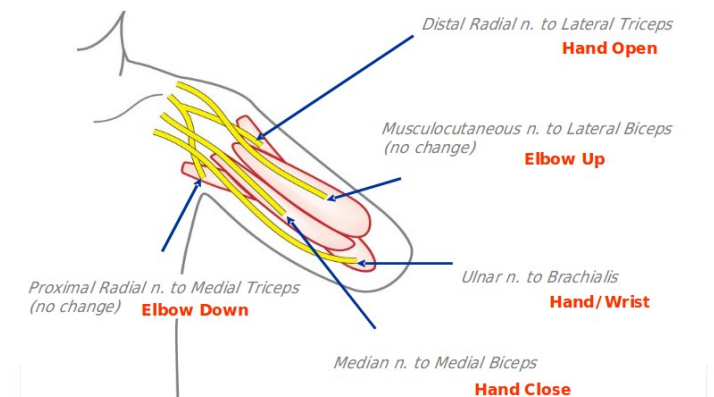
Miller, Laura A., et al. "Improved myoelectric prosthesis control using **targeted reinnervation** surgery: a case series." Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on 16.1 (2008): 46-50.

Pros

- contrôle **direct** de plusieurs articulations actives
- augmentation de la dimensionalité du contrôle
- simplification du décodage de l'intention motrice

Cons

- invasivité, dommage à des groupes musculaires sains
- lourdeur et coût de la chirurgie
- nécessité d'une phase de rééducation très lourde



Targeted Muscle Reinnervation / Driks Reinecke, Otto Bock South Africa / 20 July 2013 | © Otto Bock HealthCare 4

La captation des signaux : évolutions récentes



TMR, RIC Chicago

La captation des signaux : évolutions récentes



TMR, RIC Chicago

Movement based control @ISIR

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR
PhantoMovControl

ISIR
INSTITUT
DES SYSTEMES
INTELLIGENTS
ET DE ROBOTIQUE

INSTITUT
DES SCIENCES
DU MOUVEMENT
JULES
MAREY

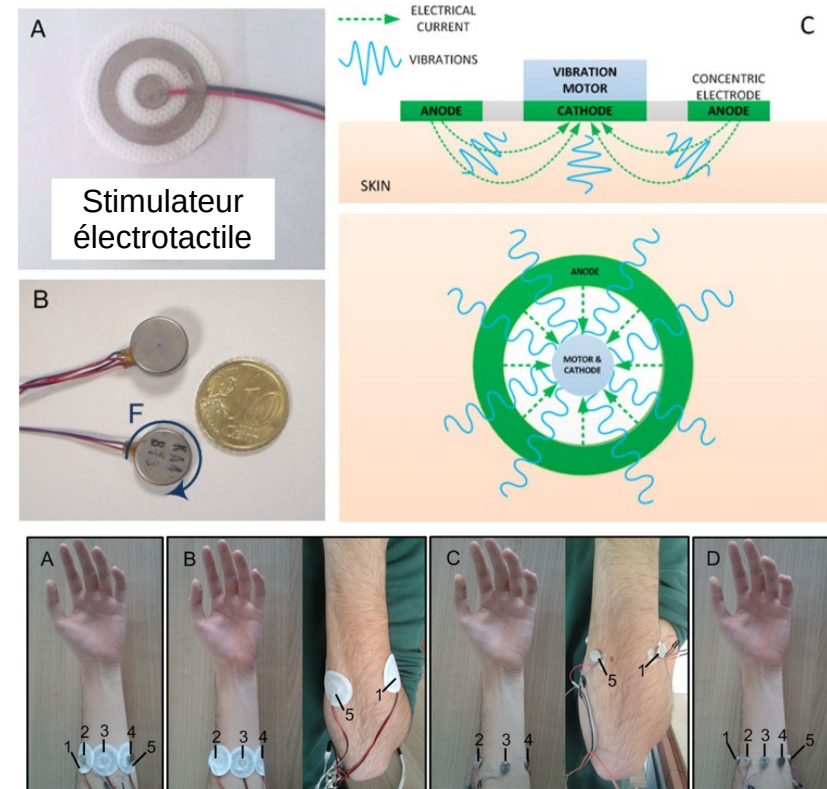
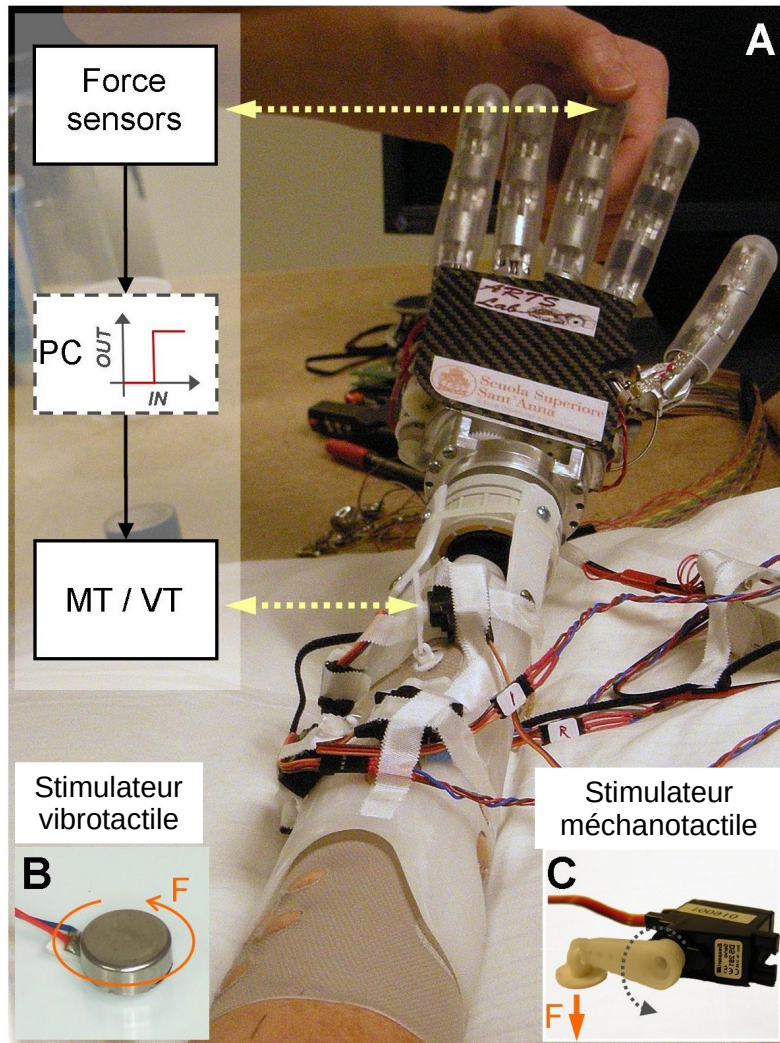
institut régional
irr
de réadaptation
de médecine
physique et



Jarrassé et al. *Phantom-mobility-based prosthesis control in transhumeral amputees without surgical reinnervation*, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2018 (Accepted)

La restitution d'informations sensorielles: évolutions récentes

- Des stimulateurs externes ...



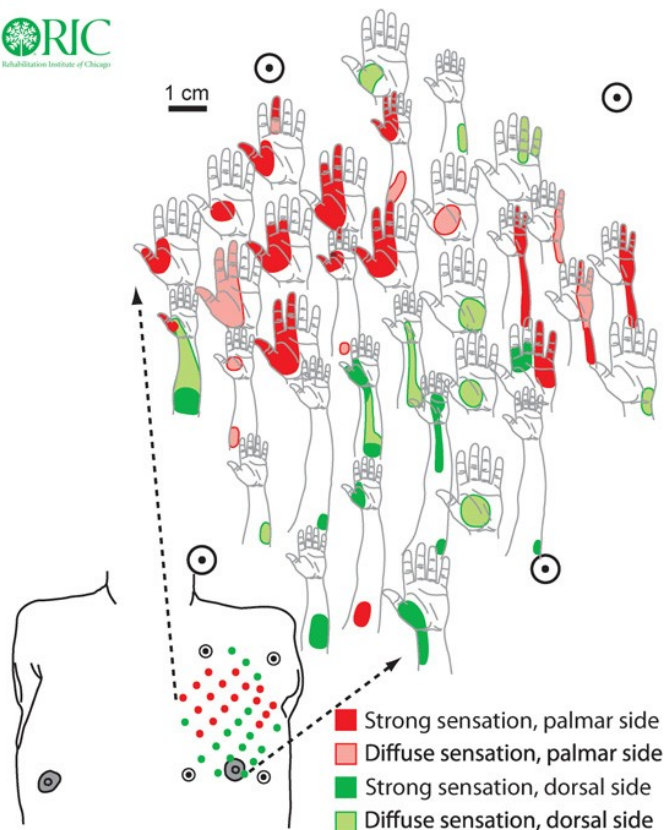
D'Alonzo et al. "HyVE—Hybrid Vibro-Electrotactile Stimulation—is an Efficient Approach to Multi-Channel Sensory Feedback." Haptics, IEEE Transactions on 7.2 (2014): 181-190.



Antfolk, et al. Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Trans on 21.1 (2013): 112-120.

La restitution d'informations sensorielles: évolutions récentes

- ... aux stimulateurs implantés



Pros

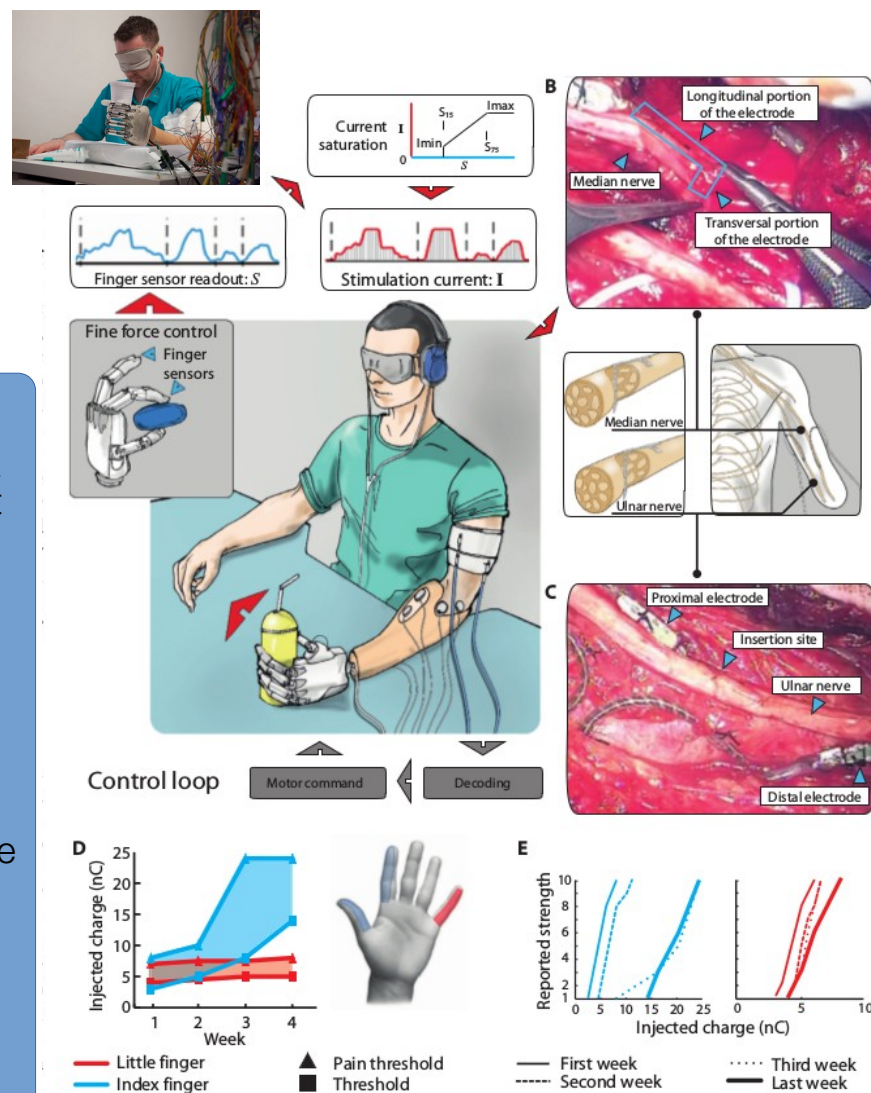
- capacité théorique à restituer plus finement l'information
- restauration SANS (?) substitution sensorielle

Cons

- problèmes invasivité
- Meme problème d'encodage/décodage de l'information et l'apprentissage des substitutions
- complexité cognitive pour un **ersatz** d'expérience sensorielle



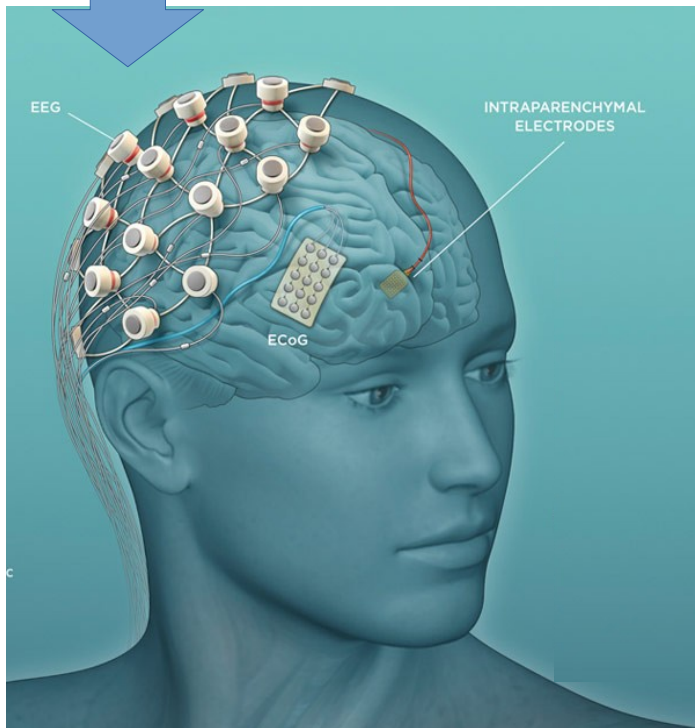
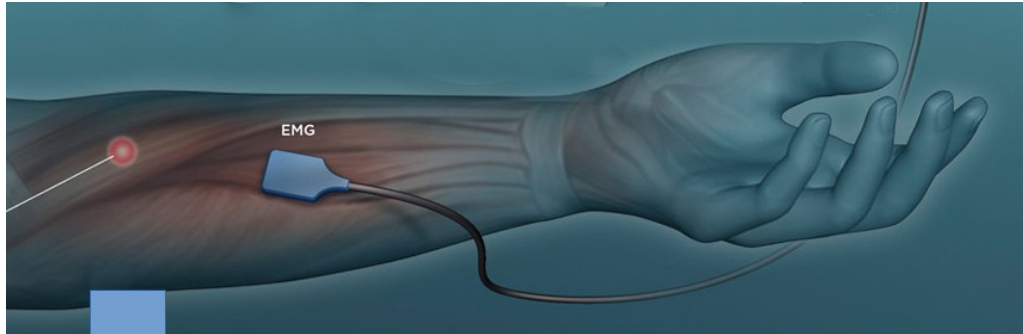
G10 factor (contact, pressure, vibration, shear force, and temperature). Kinea Design



Raspopovic, Stanisa, et al. Science translational medicine 6.222 (2014)

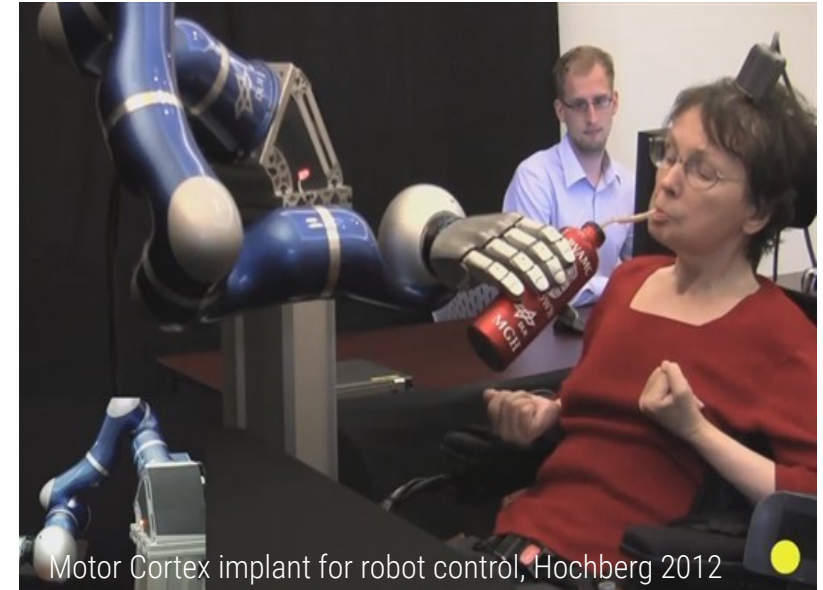
La captation des signaux : évolutions récentes

- De la mesure du système nerveux périphérique ... au système nerveux central



BCI

Brain Computer Interfaces



Pros

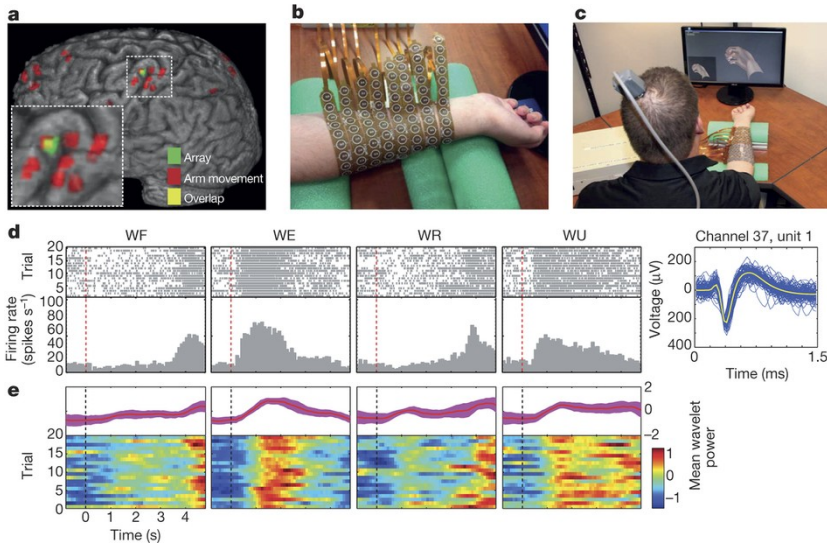
- augmentation "potentielle" de la dimensionalité du contrôle
- centralisation de l'accès aux signaux de contrôle

Cons

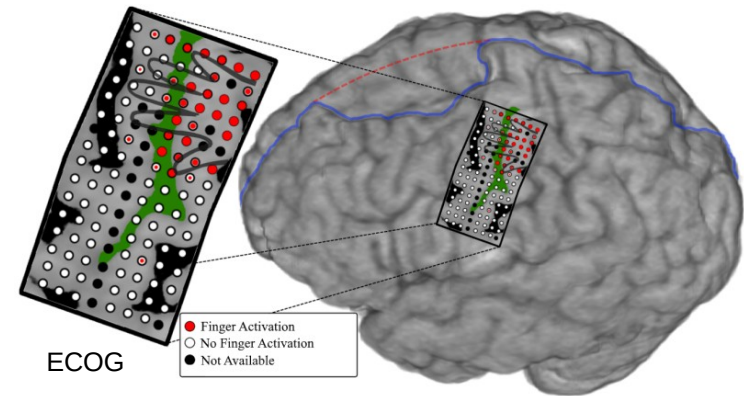
- objets "preuves de concepts", pas de visibilité long terme
- problèmes de l'interface physique (rejet (gliose), durée de vie, etc.)
- machine learning pr le décodage des données → pas prêt/adapté !
- **difficulté de maîtrise pour les patients: signaux physiologiques intermédiaires incontrôlables + peu de retour sensoriel associé**
- "Pauvreté" de l'échange actuel

Etat des lieux des technologies robotiques

- De la mesure du système nerveux périphérique ... au système nerveux central



Bouton, Chad E., et al. "Restoring cortical control of functional movement in a human with quadriplegia." *Nature* (2016).

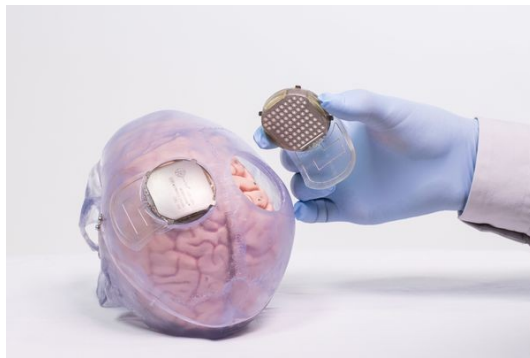
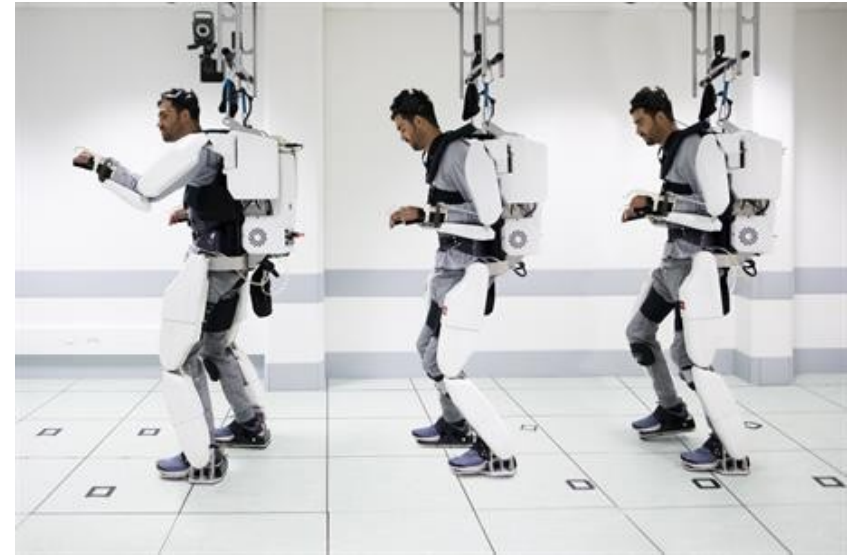


Hotson, Guy, et al. "Individual finger control of a modular prosthetic limb using high-density electrocorticography in a human subject." *Journal of neural engineering* 13.2 (2016): 026017.



Etat des lieux des technologies robotiques

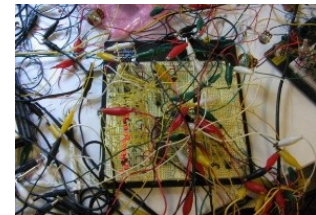
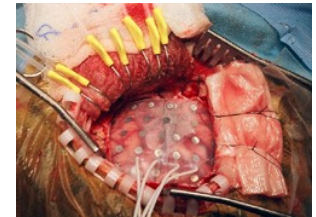
- De la mesure du système nerveux périphérique ... au système nerveux central



Benabid, Alim Louis, et al. "An exoskeleton controlled by an epidural wireless brain-machine interface in a tetraplegic patient: a proof-of-concept demonstration." *The Lancet Neurology* (2019).

La robotique de réparation du corps actuelle

- De nombreux verrous subsistent:
 - Importantes avancées technologiques
 - MAIS d'importants problèmes scientifiques encore à résoudre
- L'implantation est loin d'être une solution parfaite:
 - Balance "bénéfice/risque" questionnable
 - Expérience sensorimotrice toujours pauvre
- Le prototype n'est pas le produit:
 - Nombreux "Proof of concept" intransférables
 - Transfert lent ou inexistant vers des produits pour les patients
- Rien n'est inné, tout est et sera à (re)acquérir:
 - Complexité, perennité, usage peu "écologique"
 - Apprentissage et effort (cognitif & physique) important pour les patients



Ces technologies n'offrent pas de réelles "capacités surhumaines" mais nécessitent des capacités "quasi surhumaines" pour fonctionner!

Quelle est la réalité de “l'homme augmenté” aujourd'hui?

- Et les organes artificiels ?
 - Régulation végétative



- Réparation des sens / Substitution sensorielle



Implants cochléaires



Rétine artificielle

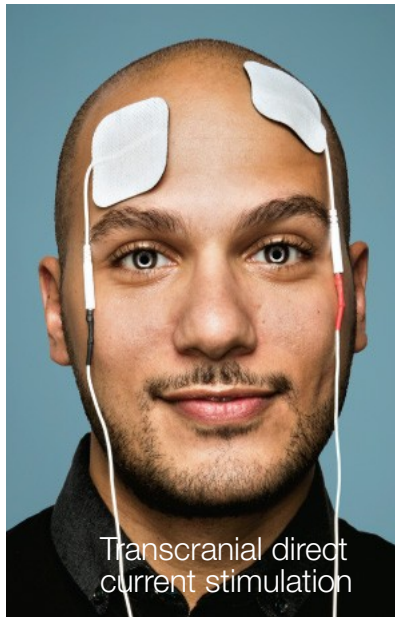
N'offrent pas de capacité surhumaine mais un retour très partiel à la normalité et nécessite parfois un effort surhumain pour reapprendre à percevoir

Quelle est la réalité de “l'homme augmenté” aujourd'hui?

- Et pour les “sujets sains”?



Marcus Meinzer et al/J. Vis. Exp. 2014



Transcranial direct current stimulation

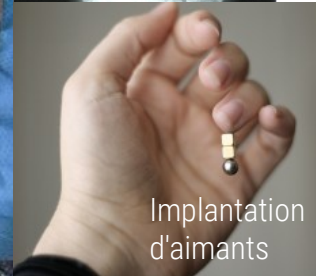
Cognitives



Institute of Cognitive Science,
University of Osnabrück

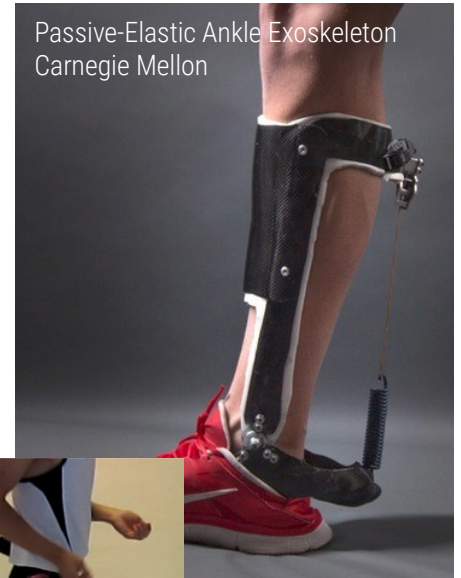


North Paw
Sensebridge

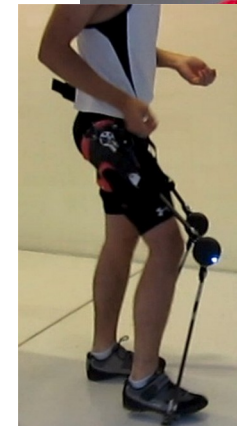


Implantation
d'aimants

Sensorielles



Passive-Elastic Ankle Exoskeleton
Carnegie Mellon

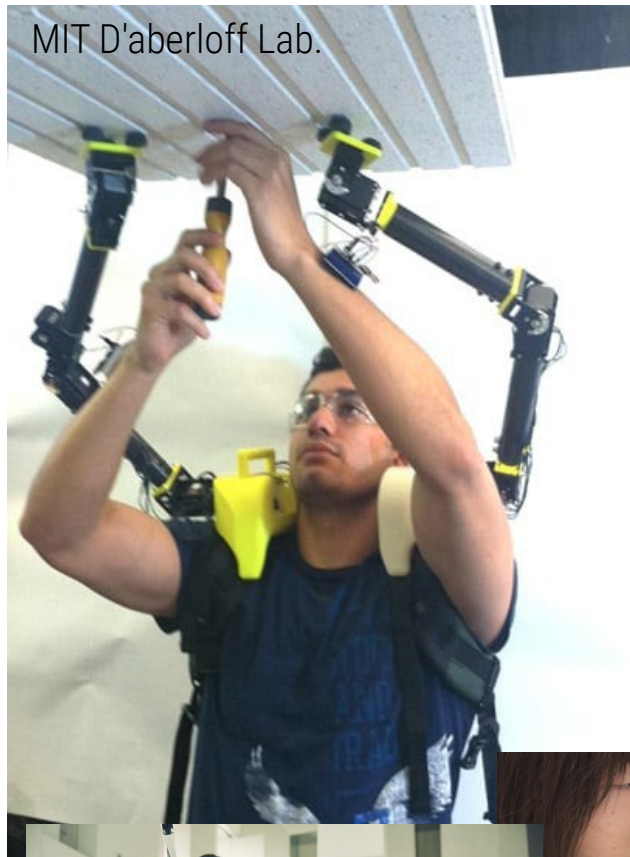


MIT media lab knee and ankle exoskeletons

Motrices

Des “augmentations” très limitées

Supernumerary Robotic Limbs



Metalimbs

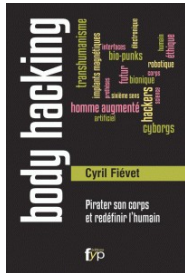


ISIR

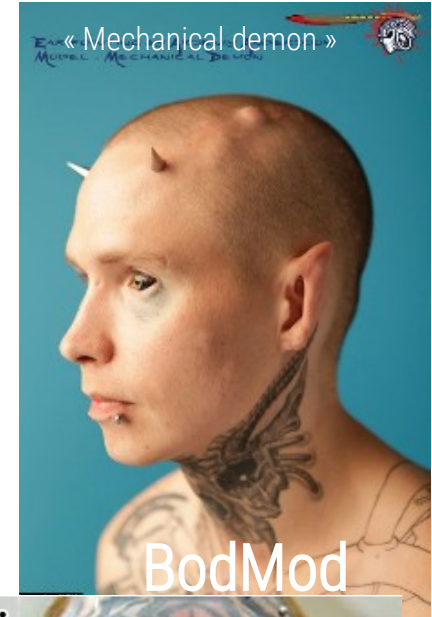


Pas d'hybridation mais de la «collaboration» avec des dispositifs robotiques portés

Body-hackers / Grinders



=



Des “performances artistiques”

Body-hackers / Grinders



Des concepts “semi-révolutionnaires”...

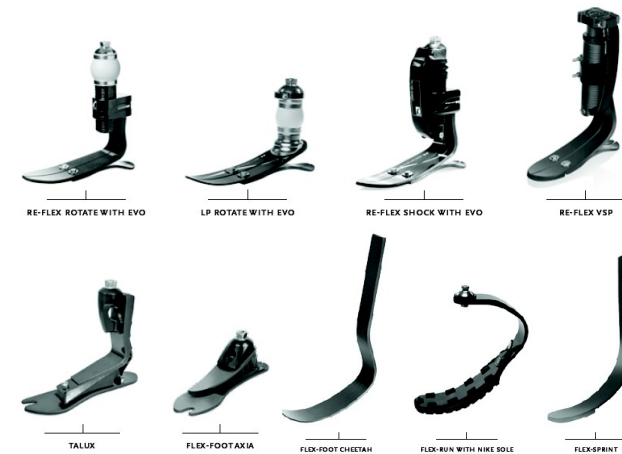
Aux origines du mythe de l'homme augmenté...

Aux origines du mythe de l'homme augmenté...

- L'existence d'êtres “ponctuellement” augmentés et le biais de la généralisation de la performance



O. Pistorius avant une course, 2008



Ossur Catalog 2014



Ottobock Greifer



Sacrifice de la polyvalence humaine pour la “sur-capacité” locale

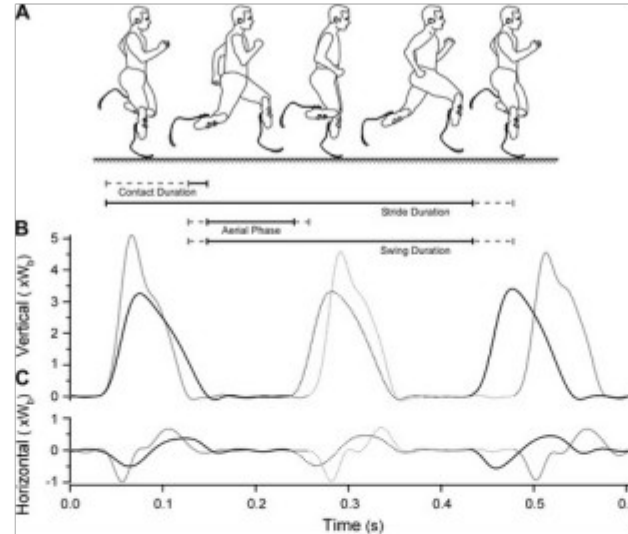
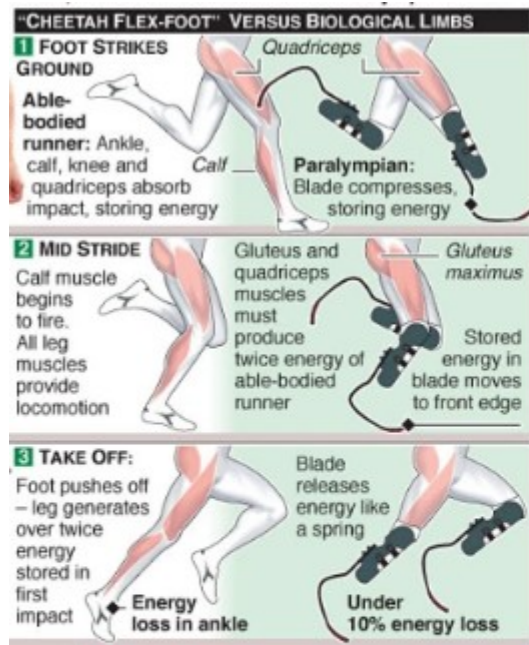
Aux origines du mythe de l'homme augmenté...

- Oubli de la complexité des “techniques du corps” (*Mauss*)

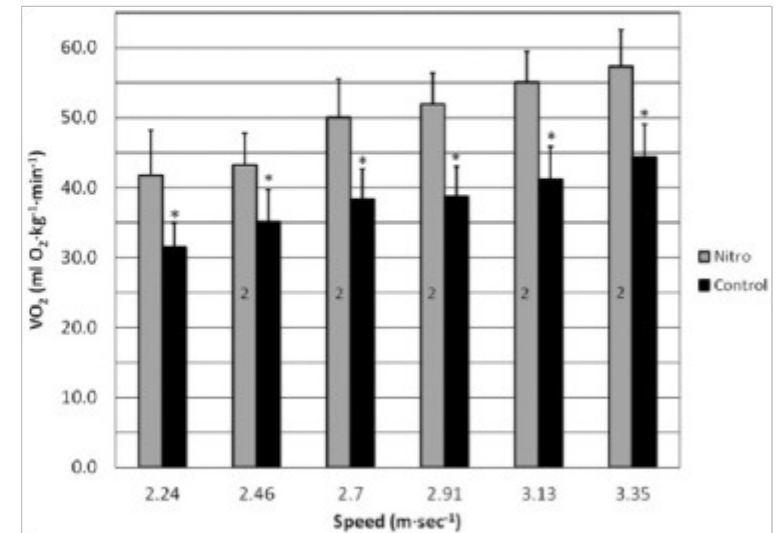


Aux origines du mythe de l'homme augmenté...

- Oubli de la complexité des “techniques du corps” (*Mauss*)



Weyand et al. (2009)

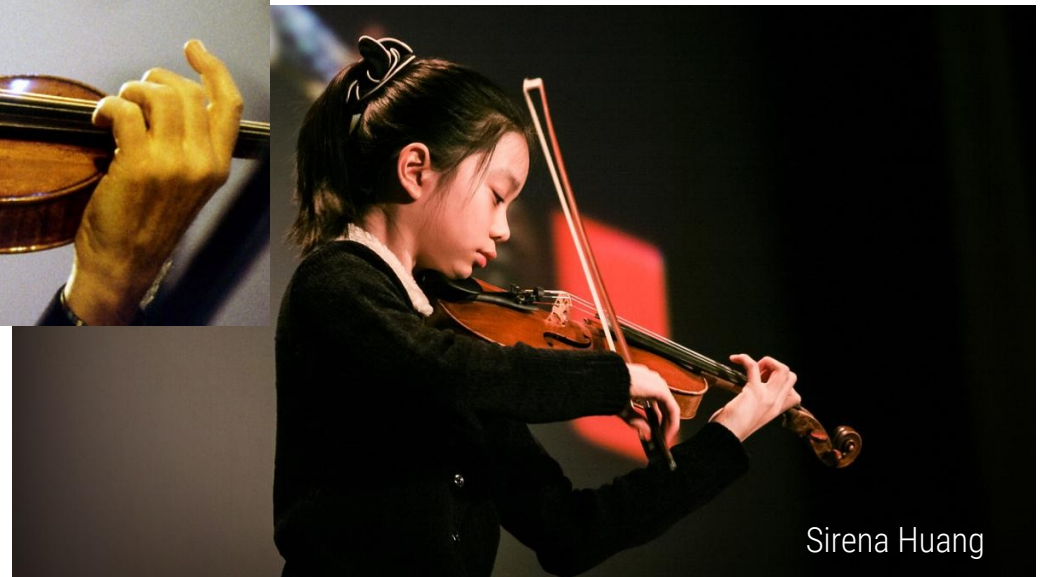
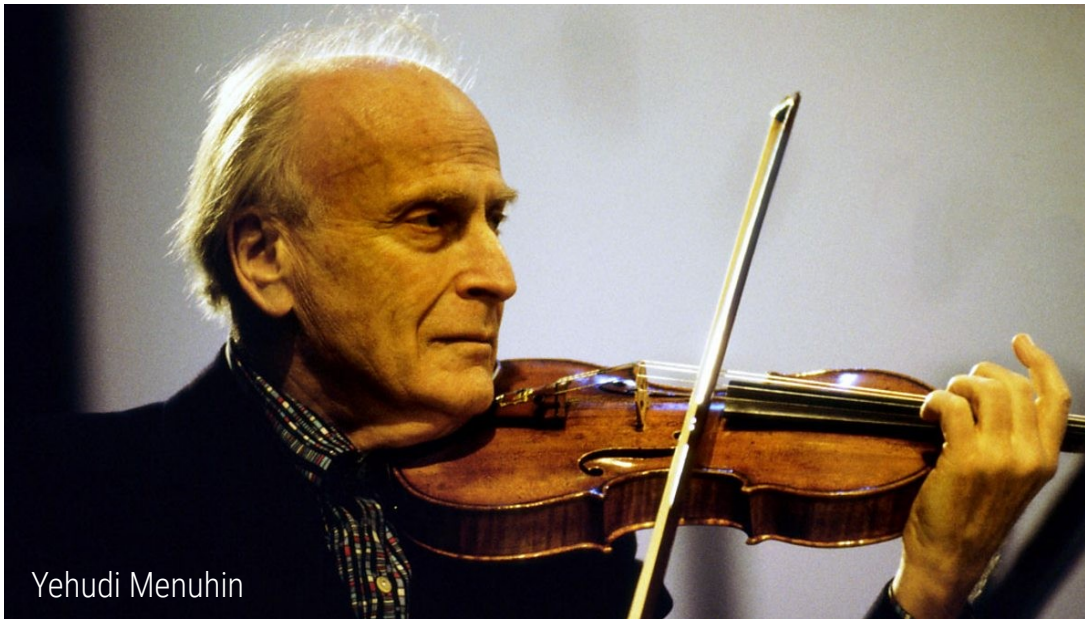


Mengelkoch et al (2017)

RECORD COMPARISONS		Time (seconds)		
Event	Category	100m	200m	400m
Carbon fibre	Olympic records	9.63	19.30	43.49
	Pistorius's records	10.91	21.58	45.07
	Paralympic records (T43)	11.16	21.67	47.49
Spikes	Paralympic records (T44)	11.08	22.62	50.98

Aux origines du mythe de l'homme augmenté...

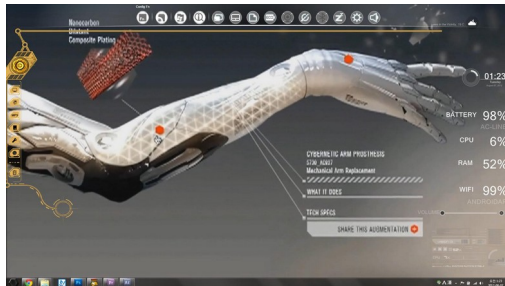
- Confusion entre expertise sensorimotrice et “augmentation”



Mythe du surhomme = mythe de l'instantanéité
“Celui qui acquiert un talent sans contrepartie (temps, énergie, douleur, assiduité, etc.)”

Aux origines du mythe de l'homme augmenté...

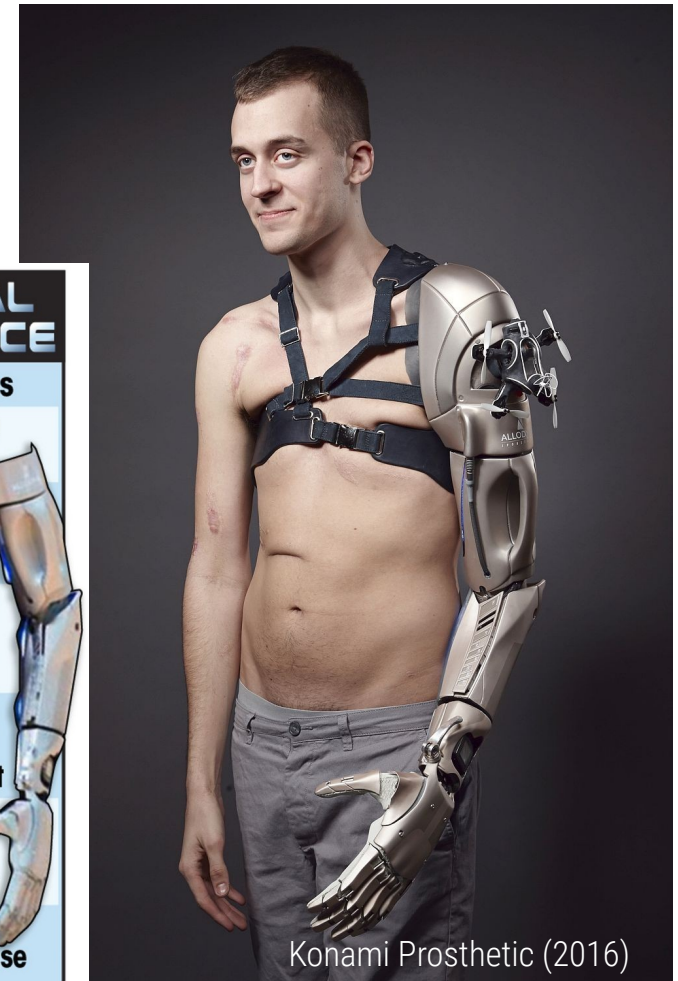
- Technophilie, fantasme du progrès et vulgarisation simplificatrice



ARTIFICIAL INTELLIGENCE

False limb features

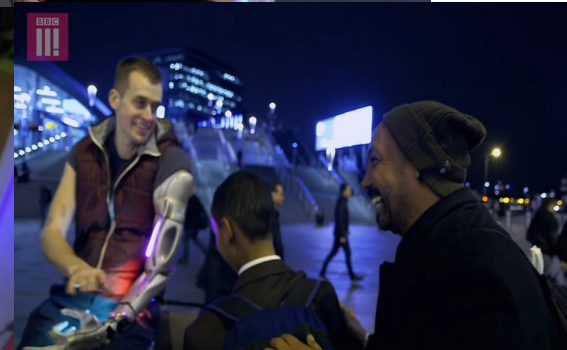
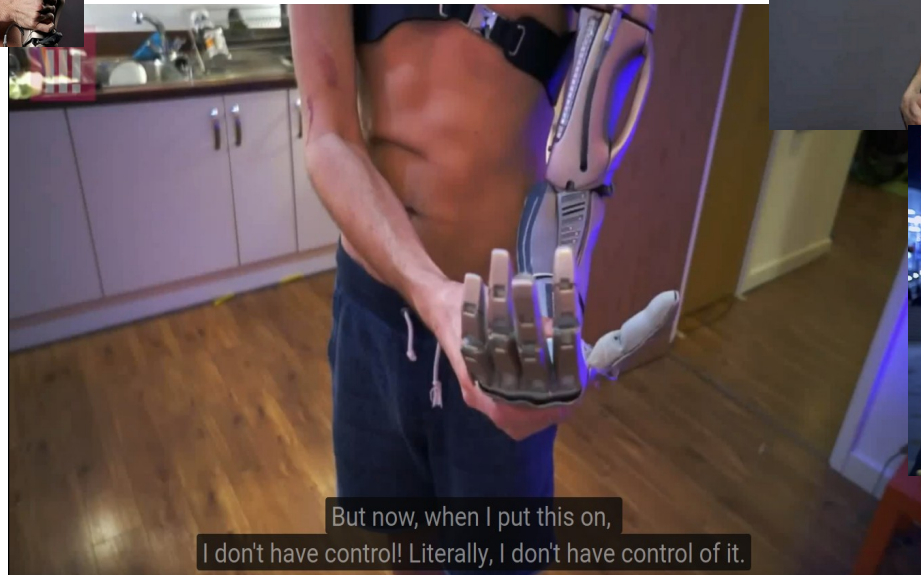
- Docking station for a mini helicopter drone
- LCD screen to show Twitter feed and emails on forearm
- USB port in wrist for charging phones or uploading data
- Quick-release connection at elbow to remove forearm part
- Muscle sensors in harness to control arm and fingers
- Torch, laser and LED lights to synchronise with heartbeat



Konami Prosthetic (2016)

Aux origines du mythe de l'homme augmenté...

- Technophilie, fantasme du progrès et vulgarisation simplificatrice



Technologie = échec de réparation fonctionnelle

Technologie = facilitateur de réinsertion sociale

Aux origines du mythe de l'homme augmenté...

- Une manière de se reconstruire une identité sociale et de moduler les stigmates



Le “surhomme”: un rôle “joué” par certains patients

Conclusion

- Un homme réparé, mais partiellement
- “L'homme augmenté” n'est qu'un homme avec des outils. Le reste de cette construction relève de la mythologie / idéologie.
- C'est l'humain qui reste la clé du fonctionnement de la technique (apprentissage, endurance, pugnacité, fatigue, investissement, etc.)
- **Risques:**
 - De développer la technique seule sans avoir une vision globale
 - De construire des réflexions sociétales et éthiques basées sur un imaginaire technologique.

Questions?



Manami Ito - "Thread" (2018)

Merci pour votre attention