



# Pédalage assisté par stimulation électro-fonctionnelle

Participation au Cybathlon 2016

<http://freewheels.inria.fr>



# Équipe CAMIN



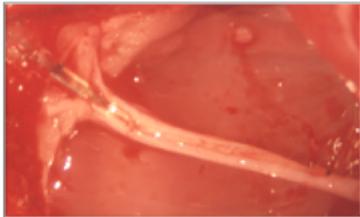
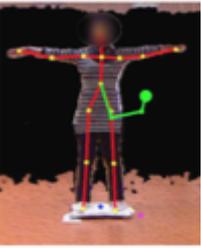
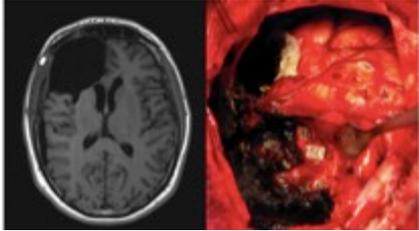
Ex **DEMAR**

**LIRMM**

Labo. d'Informatique,  
de Robotique et de  
Microélectronique  
de Montpellier



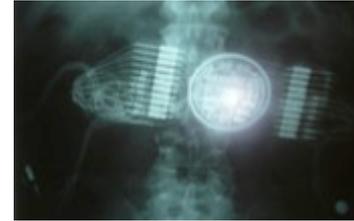
# Équipe CAMIN



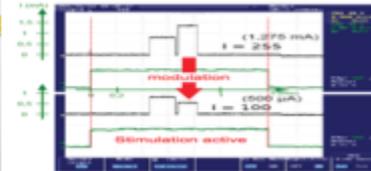
EXPLORATION  
ANALYSIS



ASSISTANCE  
RESTORATION



**Chercheurs/ingénieurs**  
Cliniciens  
Industriels  
Patients



# Neuroprothèses

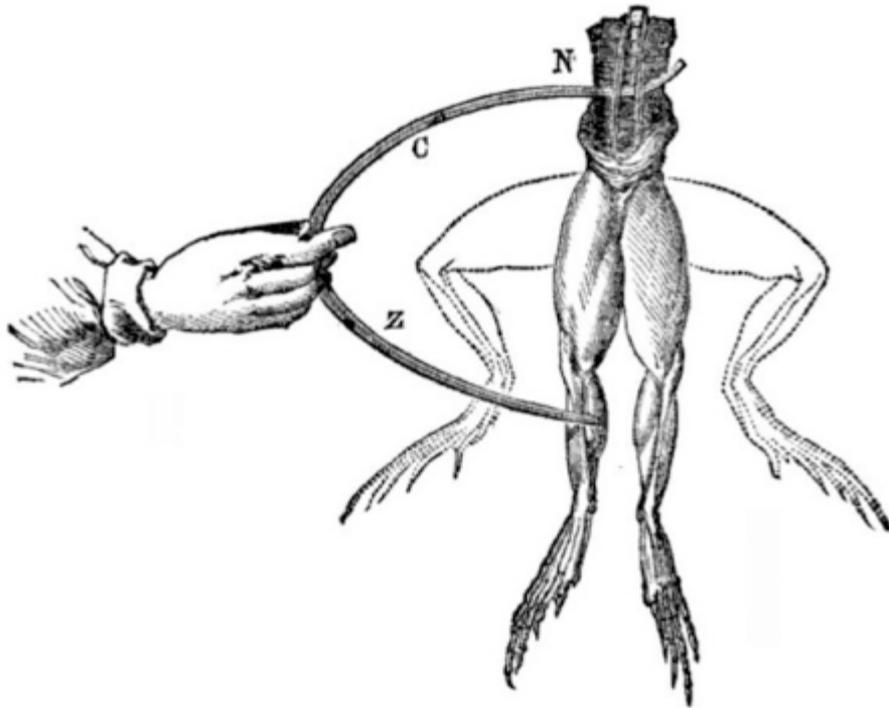


**Prothèse**  
en remplacement d'un  
membre / organe vivant



**Neuroprothèse**  
active un membre / organe vivant  
(via le système nerveux)

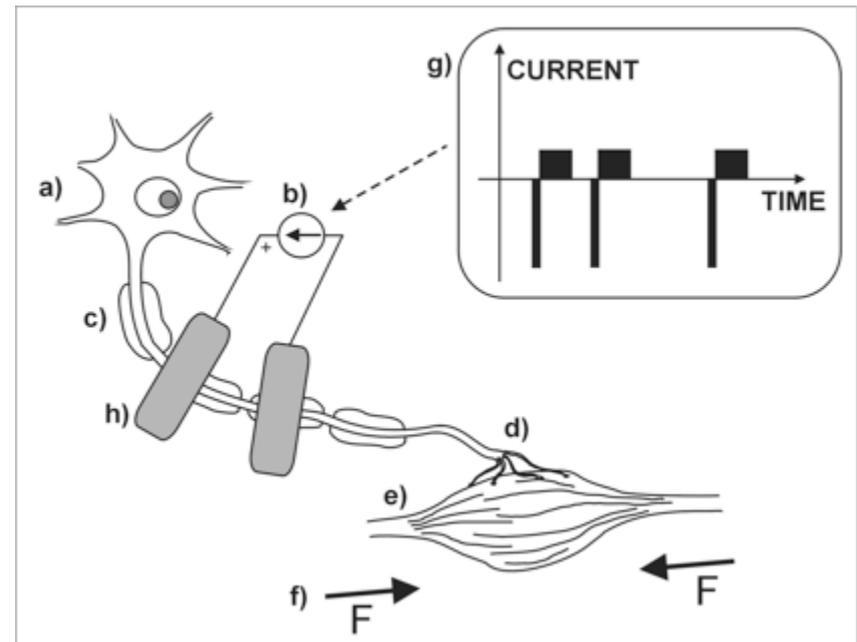
# Neuroprothèses



1791 - Luigi Galvani

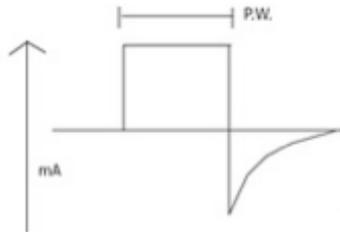
« Bioélectricité »

Les muscles d'une grenouille se contractent lorsqu'on applique un courant électrique.

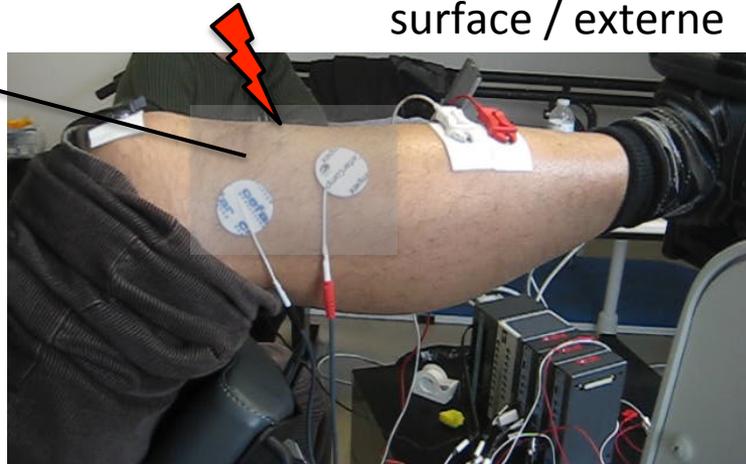


# Neuroprothèses

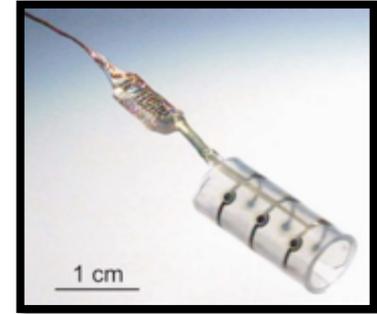
Stimulation



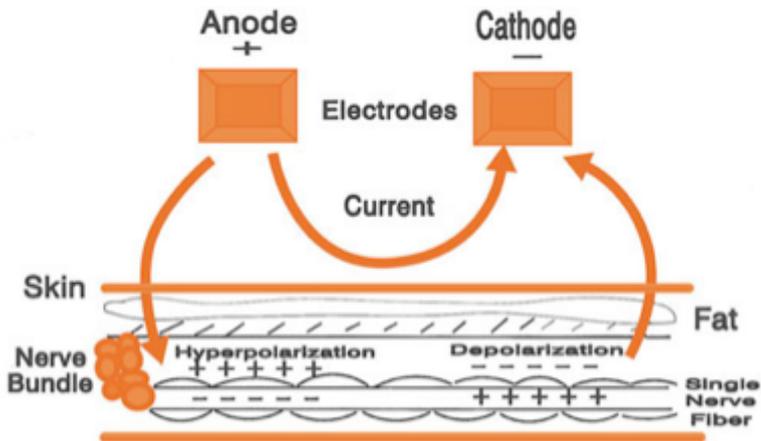
surface / externe



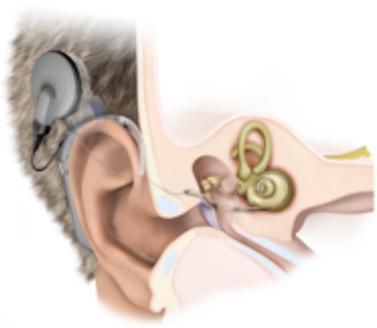
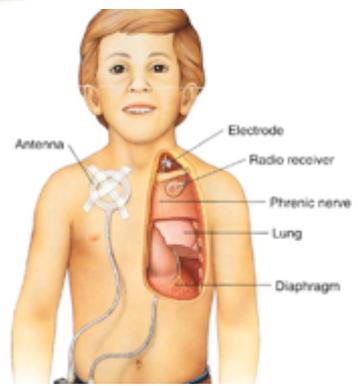
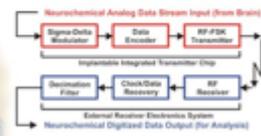
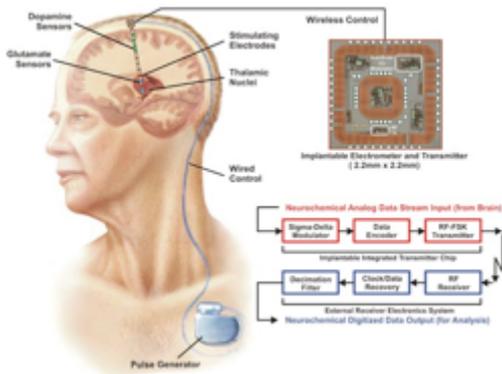
implanté



Stimulation électrique fonctionnelle

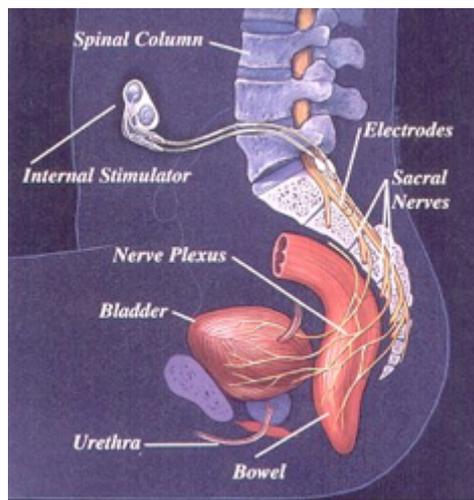
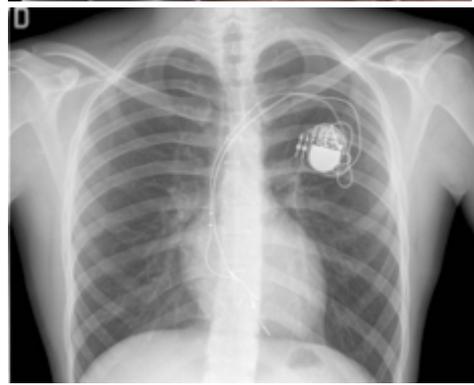


# Neuroprothèses

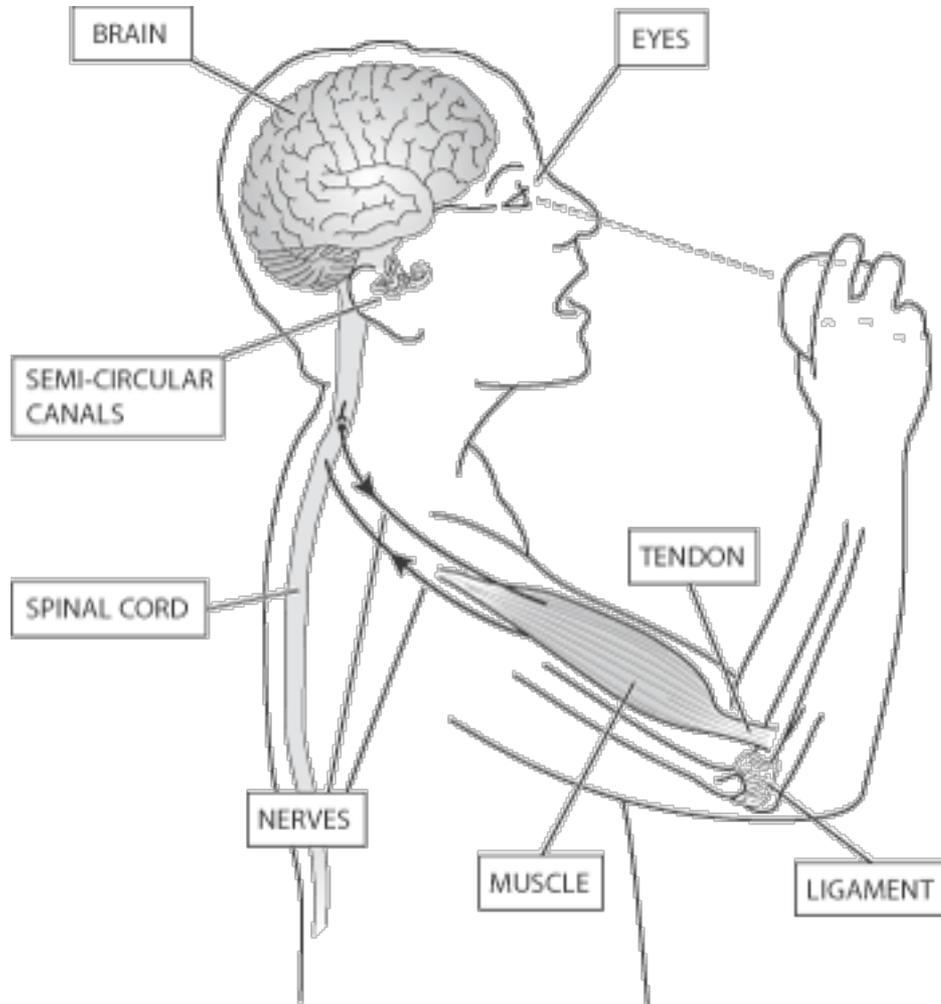


Central diagram of a human body with callouts to various neuroprosthetic applications:

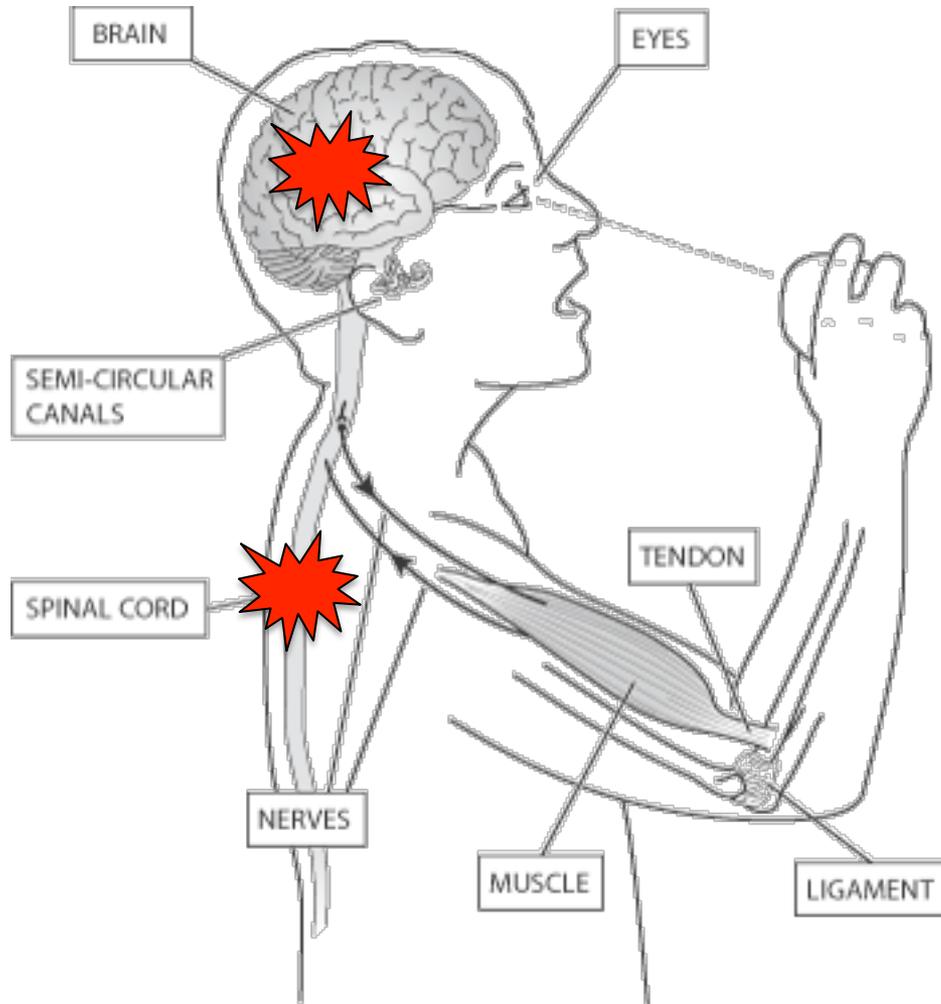
- Deep Brain/Cortical**: Parkinson's • Dystonia • OCD • Depression • Tinnitus
- Occipital Nerve**: Migraine
- Ocular**: Artificial Retina
- Cochlea**: Profound Deafness
- Vagus Nerve**: Epilepsy • Depression • Hypertension • Obesity
- Cardiac**: Pacing • Defibrillation • CRT • Heart Failure
- Spinal Cord**: Chronic Pain • Vascular pain • ALS • Huntington's
- Gastric**: Obesity • Reflux
- Phrenic Nerve**: Respiration
- Pelvic**: Incontinence • Sexual Dysfunction



# Le mouvement

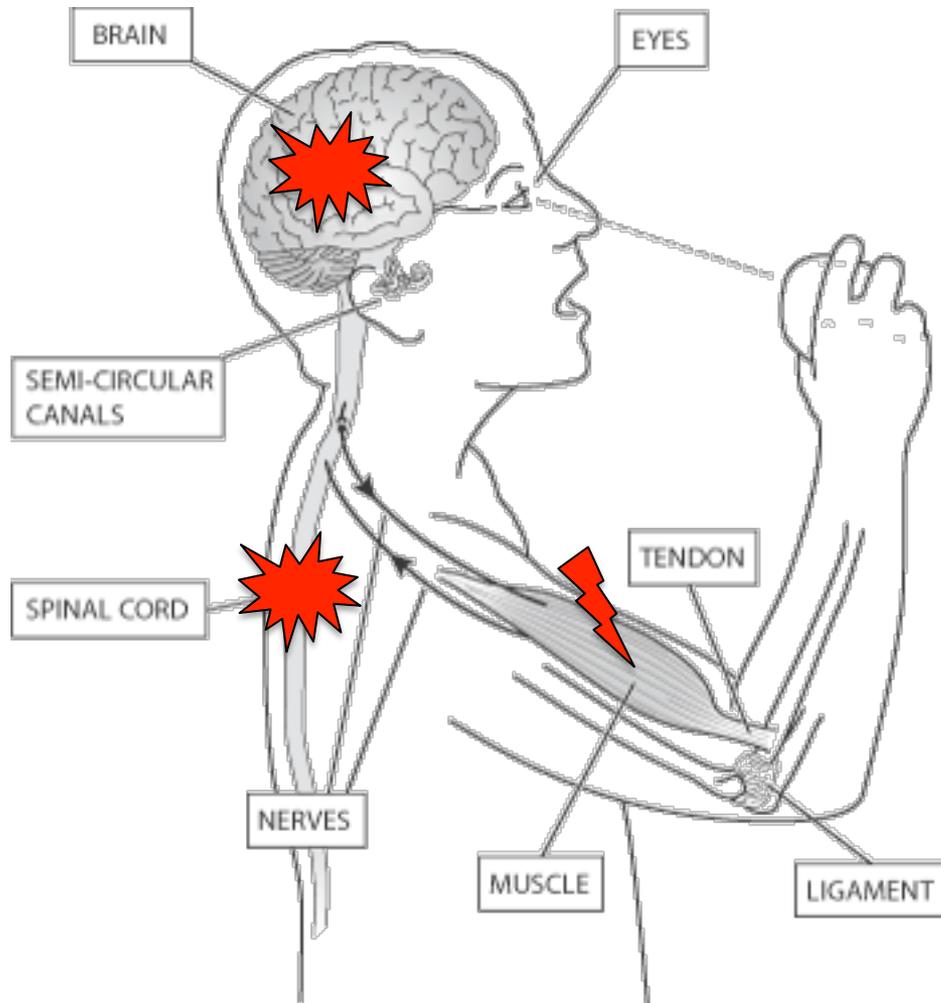


# Le mouvement



Lésions du système nerveux central : paralysie partielle / complète

# Le mouvement



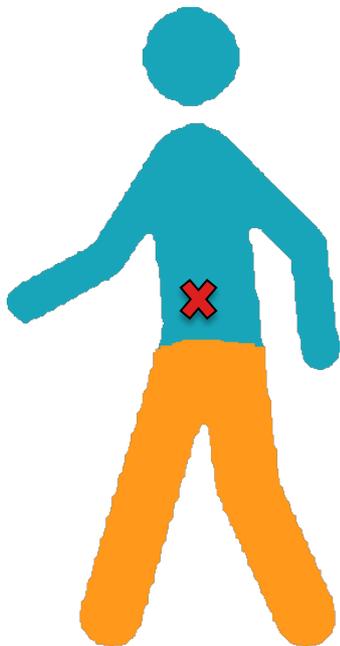
Lésions du système nerveux central : paralysie partielle / complète

Muscles intacts : stimulation électrique fonctionnelle

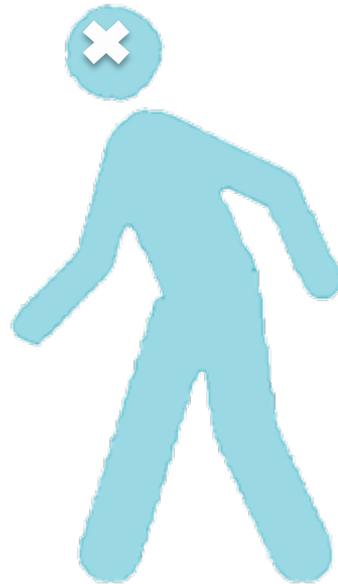


# Déficiences sensori-motrices

Contrôle volontaire



lésion médullaire



maladie de Parkinson



lésion cérébrale



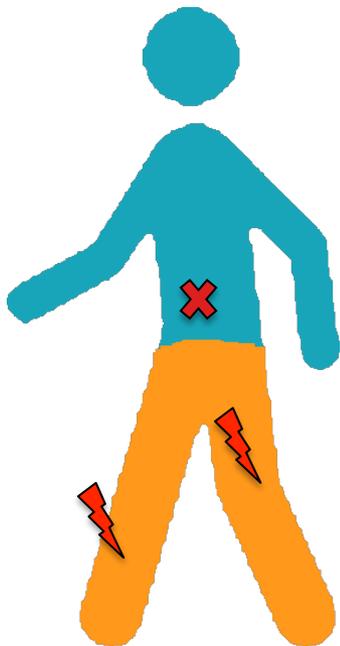
amputation

# Déficiences sensori-motrices

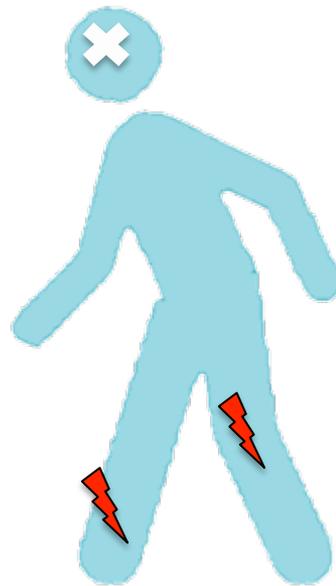
- Assistance, suppléance et rééducation fonctionnelles

Contrôle volontaire

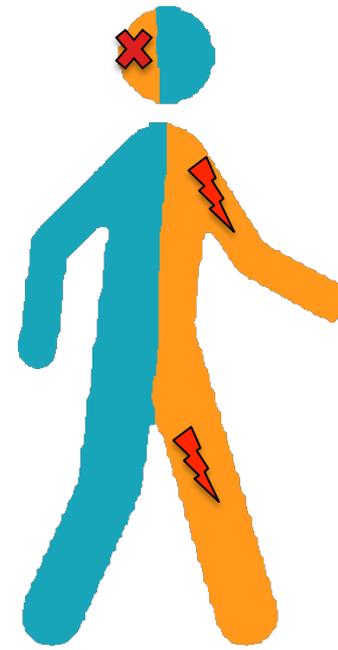
Contrôle artificiel



lésion médullaire



maladie de Parkinson

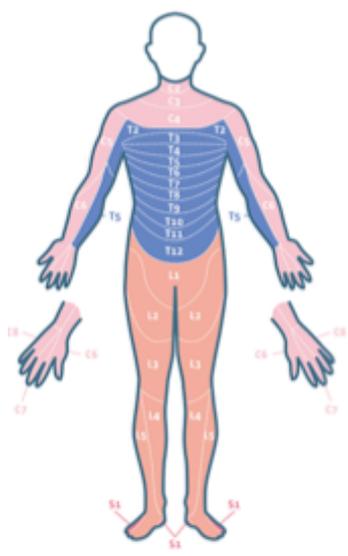
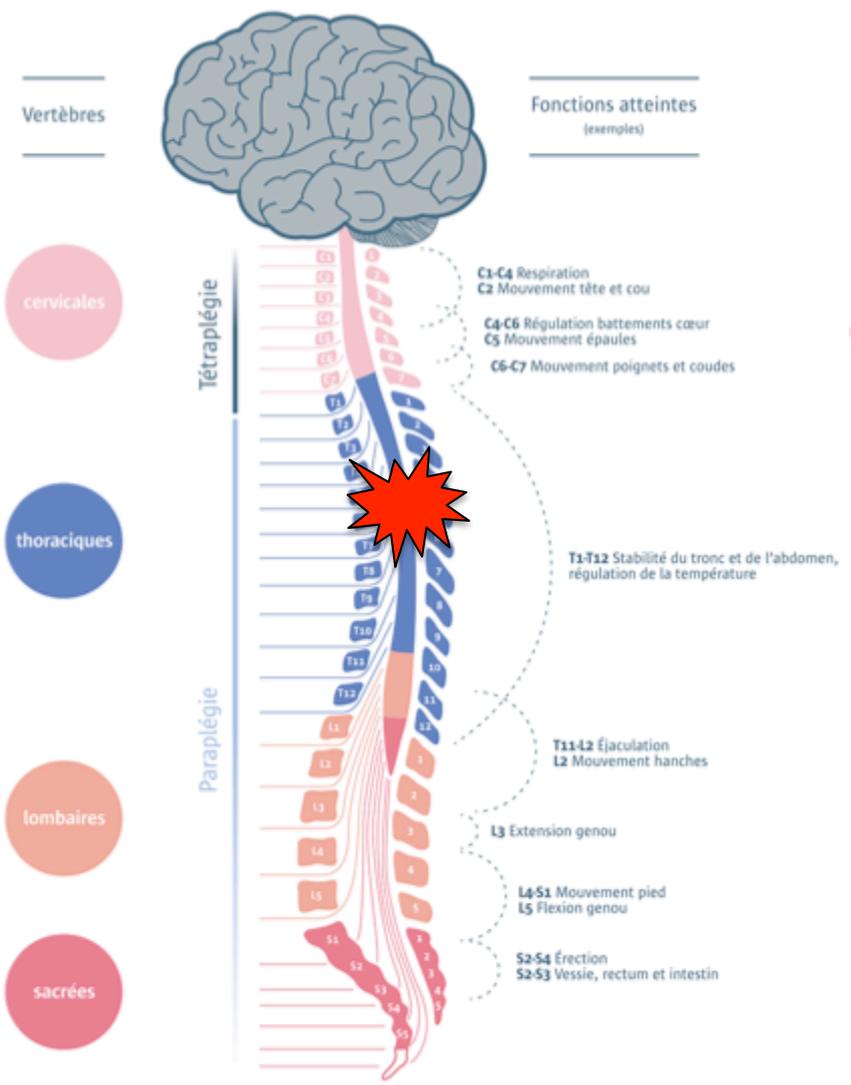


lésion cérébrale

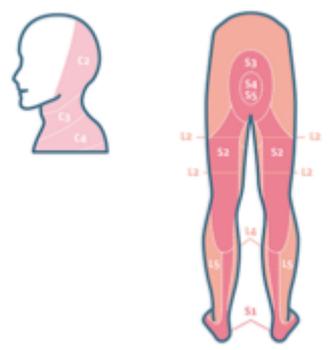


amputation

# Lésion médullaire



Zones commandées par les différents nerfs issus de la moelle épinière

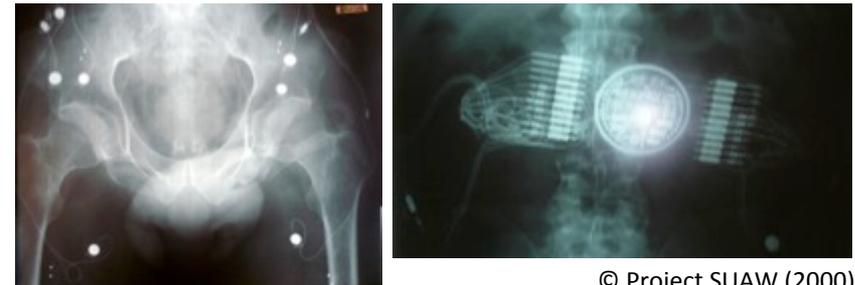
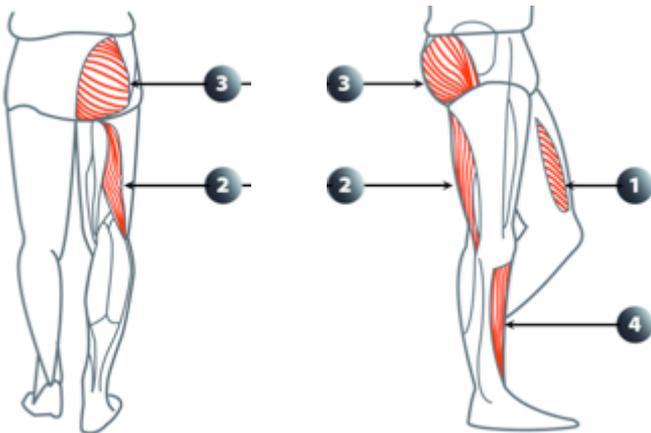


# Marche assistée / lésion médullaire complète

Stim. externe



Stim. Implantée

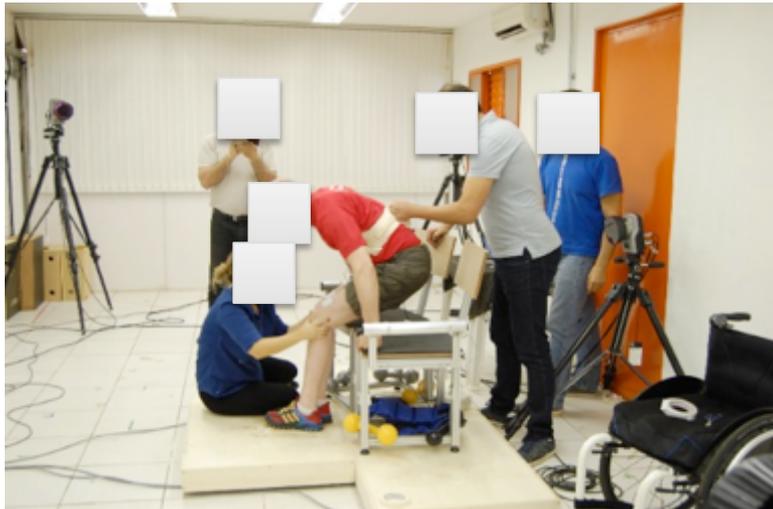
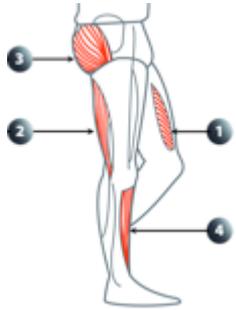


© Project SUAW (2000)

Fatigue musculaire

# Assistance aux transferts

Assistance aux transferts en pivot assis pour soulager les membres supérieurs



# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Brain Computer Interface  
(BCI) Race



Functional Electrical Stimu-  
lation (FES) Bike Race



Powered Arm Prosthesis  
Race



CYBATHLON

Octobre 2016,  
Zurich

# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Brain Computer Interface  
(BCI) Race



Functional Electrical Stimu-  
lation (FES) Bike Race



Powered Arm Prosthesis  
Race



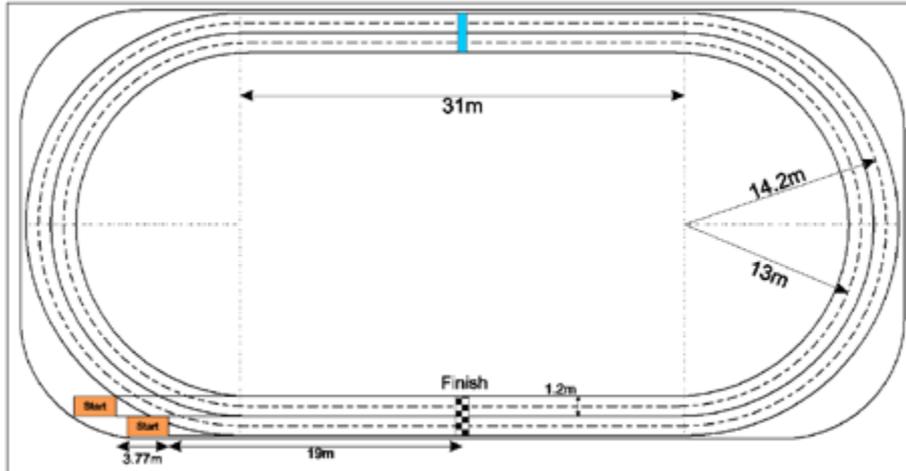
CYBATHLON

Octobre 2016,  
Zurich

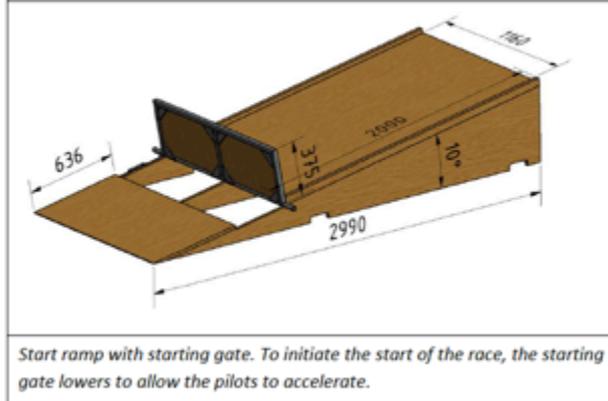
Announce reçue en Janvier 2014

Doutes : intérêt scientifique, risques de débordement médiatique...

# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Race course: Five laps on the race course correspond to 750 m. At the black-white chequered line, split time of full laps is measured. This line also serves as the finish line. At the blue line, split time of half rounds is measured. After having passed the blue line, the pilot starting on the outer lane is allowed to switch to the inner lane.



Start ramp with starting gate. To initiate the start of the race, the starting gate lowers to allow the pilots to accelerate.



Surface of the race track: hard rubber



750m < 8mn

Compromis vitesse de pédalage / fatigabilité



## Benefits of FES Cycling

- ❖ Improved cardiovascular health
- ❖ Increased muscle bulk in the legs
- ❖ Increased bone density in the lower limbs
- ❖ Reduction of spasticity in most cases
- ❖ Lowered risk of pressure sores
- ❖ Cosmetic benefits
- ❖ Improved feelings of well being

- technique d'entraînement indoor
- quelques produits outdoor (non dédiés lésés médullaires)
- compétition
- pas de référence pour les performances à espérer



# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Janvier 2015

Équipe associée

CACAO

Univ Brasilia



Mai 2015

*Inria*  
INVENTEURS DU MONDE NUMÉRIQUE



Juin 2015



Charles Fattal (CRF Divio, Dijon)  
Anne Daubigney (CRF Divio, Dijon)  
Benoît Sijobert (INRIA)  
Jérôme Parent



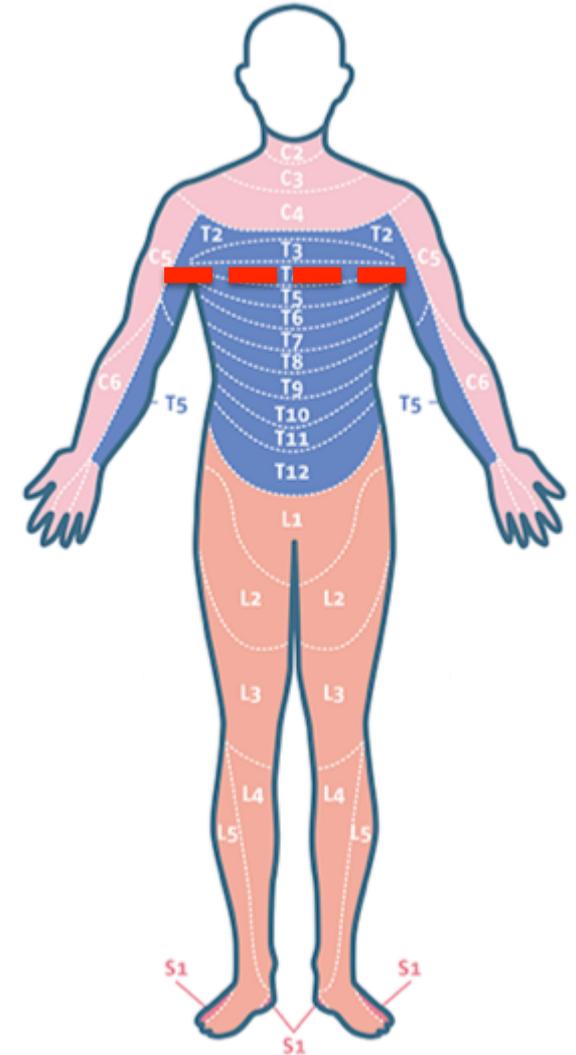
# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Jérôme, paraplégique T3/T4 depuis 20 ans  
Handbiker

- > mapping musculaire
- > muscles activables / stimulation de surface
- > conditions physiques / médicales

Juillet 2015 – présentation Cybathlon à Kloten

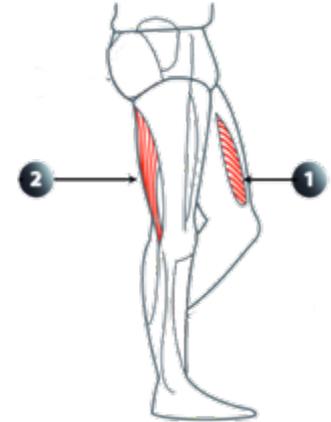
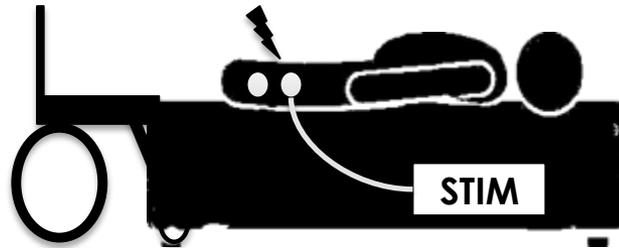


# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Novembre 2015

Préparation musculaire  
30mn / jour à domicile  
+ suivi COS DIVIO



*Inria*  
INVENTEURS DU MONDE NUMÉRIQUE

Fonds de dotation  
*Neuroglia*

 cyclable

**MATSPORT**

**B**  
BERKEL  
BIKE

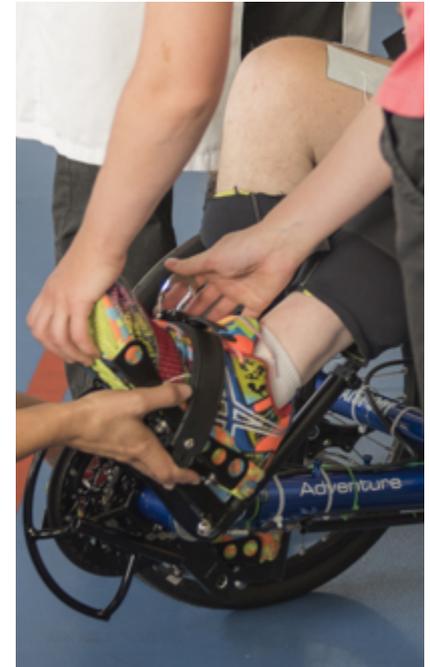
 **HIKOB**  
LEARN FROM  
REALITY.

# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Achat vélo couché (novembre 2015)

- tricycle
- prix (3.000 euros TTC fixations incluses)
- pliable / transportable
- facilité des transferts



# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Soucis partenaire industriel initial  
Achat stimulateur (Mars 2016)

- 4.200 euros TTC

- dédié cycling

+ prêt vélo (10.000euros) pour les entraînements



# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



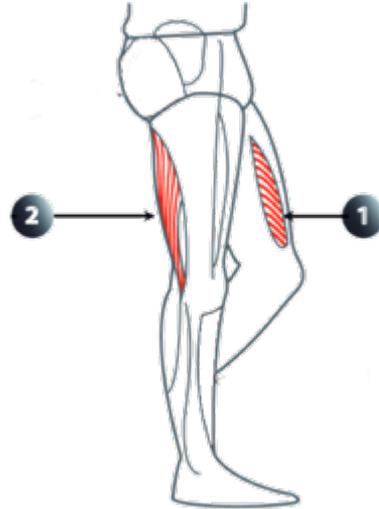
Capteur de position angulaire du pédalier

électrodes

Stimulateur programmable

Pattern activation

# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Protocole de recherche  
Accord CPP ANSM  
Mai 2016

Pédalage vélo fixe  
2 fois / semaine

Patron d'activation Berkel

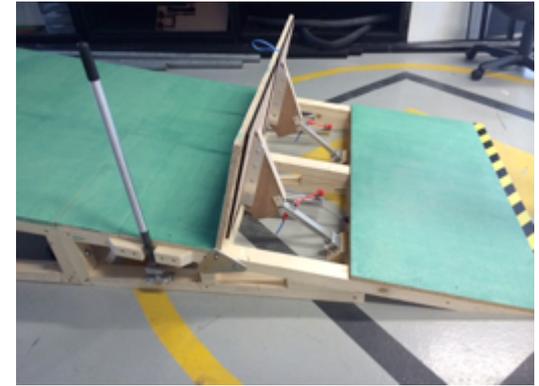
# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Adaptation stim. Berkel / vélo ICE



Protections peau (guêtres + coussin)



Fabrication rampe

Mai 2016, voyage  
à Brasilia



# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Juin 2016 -> premiers essais sur le vélo ICE



-> performances insuffisantes,  
(1mn de pédalage)

-> optimisation mécanique



# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Fin août 2016 -> 2 fois par semaine sur vélo ICE fixe

Septembre -> performances insuffisantes hors amarrage (3mn de pédalage)

- Revêtement sol gymnase
- Patron activation (pédalage harmonieux, plus endurant, points morts)
- > pignon fixe



# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Septembre 2016 ->

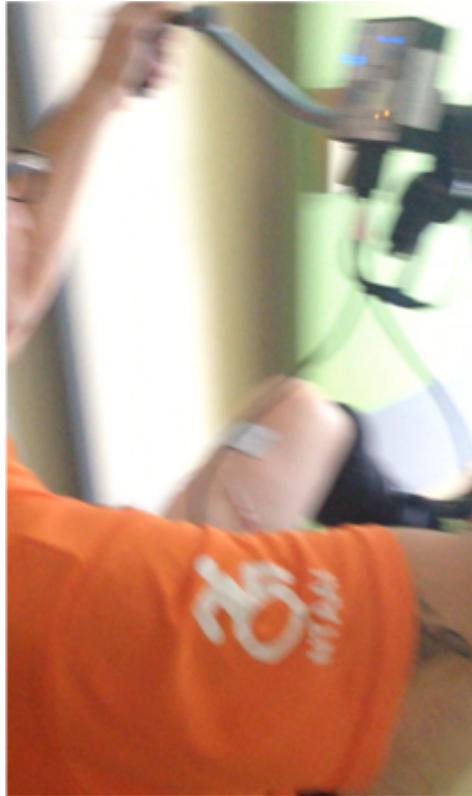
Pédalage vélo fixe 2 fois par semaine

Stade extérieur une fois par semaine

Performances en constante progression

Mais 750m non encore parcourus.

Revêtement du sol : paramètre critique



# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Optimiser pour une vitesse moyenne  
De 5.6 km/h (750m en 8mn)

Pignon fixe

Patrons d'activation minimisant la charge  
envoyée à chaque muscle

Répartition des efforts des quadriceps sur 2  
muscles

Paramètres de la stimulation (fréquence,  
intensité, largeur d'impulsion, optimisés

Solution simple, robuste, commandée par  
Jérôme (en partie contraint par le  
stimulateur)

# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



**Octobre 2016**

12 participants à l'épreuve

1ère course : Jérôme parcourt les 750m en un peu plus de 8mn et se qualifie.

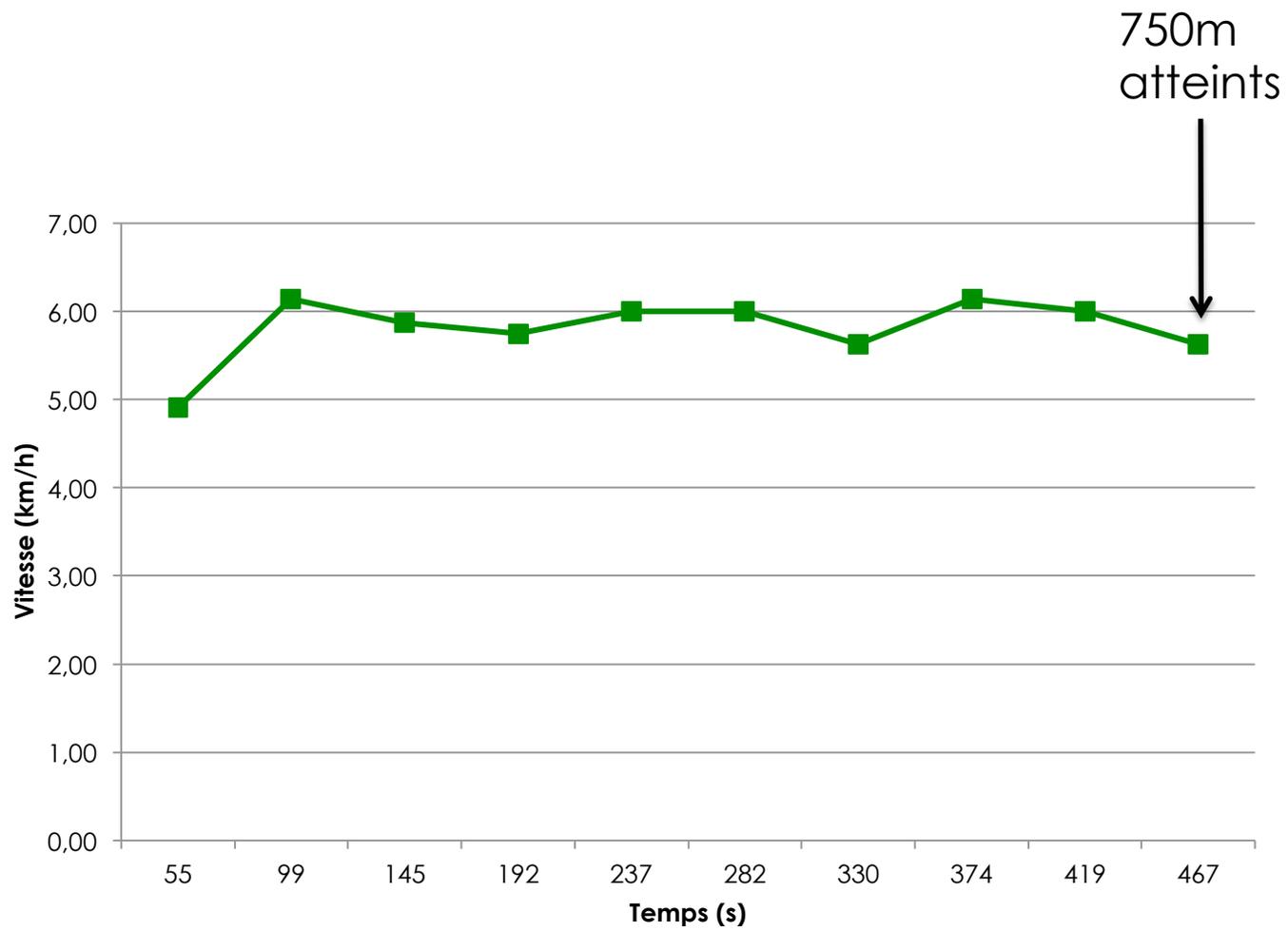
2ème course : Jérôme parcourt les 750m en moins de 8mn

**Il termine 6ème**

Pédalage fluide et régulier

## FES Final results

Rank	No.	Pilot name	Team name	Country	Rounds	Time
1	79	Mark Muhn	Team Cleveland	United States	10	178
2	26	Johnny Beer Timms	BerkelBike UK	United Kingdom	10	248
3	18	Julien Jouffroy	IRPT/SPZ	Switzerland	10	239
4	15	Hanno Voigt	ASOMED	Germany	10	395
5	16	Kevin Gnehm	MYOLYN	United States	10	309
6	24	Jerome Parent	FREEWheels	France	10	467
7	19	Greg McClure	Sydney Australia	Australia	10	465
8	22	Estevão Carvalho Lopes	EMA	Brazil	4	183
9	20	Yoshitsugu Ikai	Meltin MMI	Japan	3	383
10	23	Vance Bergeron	ENS de Lyon	France	1	29
11	25	Tsz Ying Lee	Phoenix	Hong Kong	1	480
12	17	Wichakorn Weangsong	Mahidol BCI	Thailand	0	240



# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



## Enseignements

Âges, niveaux de lésion, solutions hétérogènes

Système implanté vs externe

# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Compétition :

- Défi
- Equipe
- Rencontres
- Émulation



Donner du sens

# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique

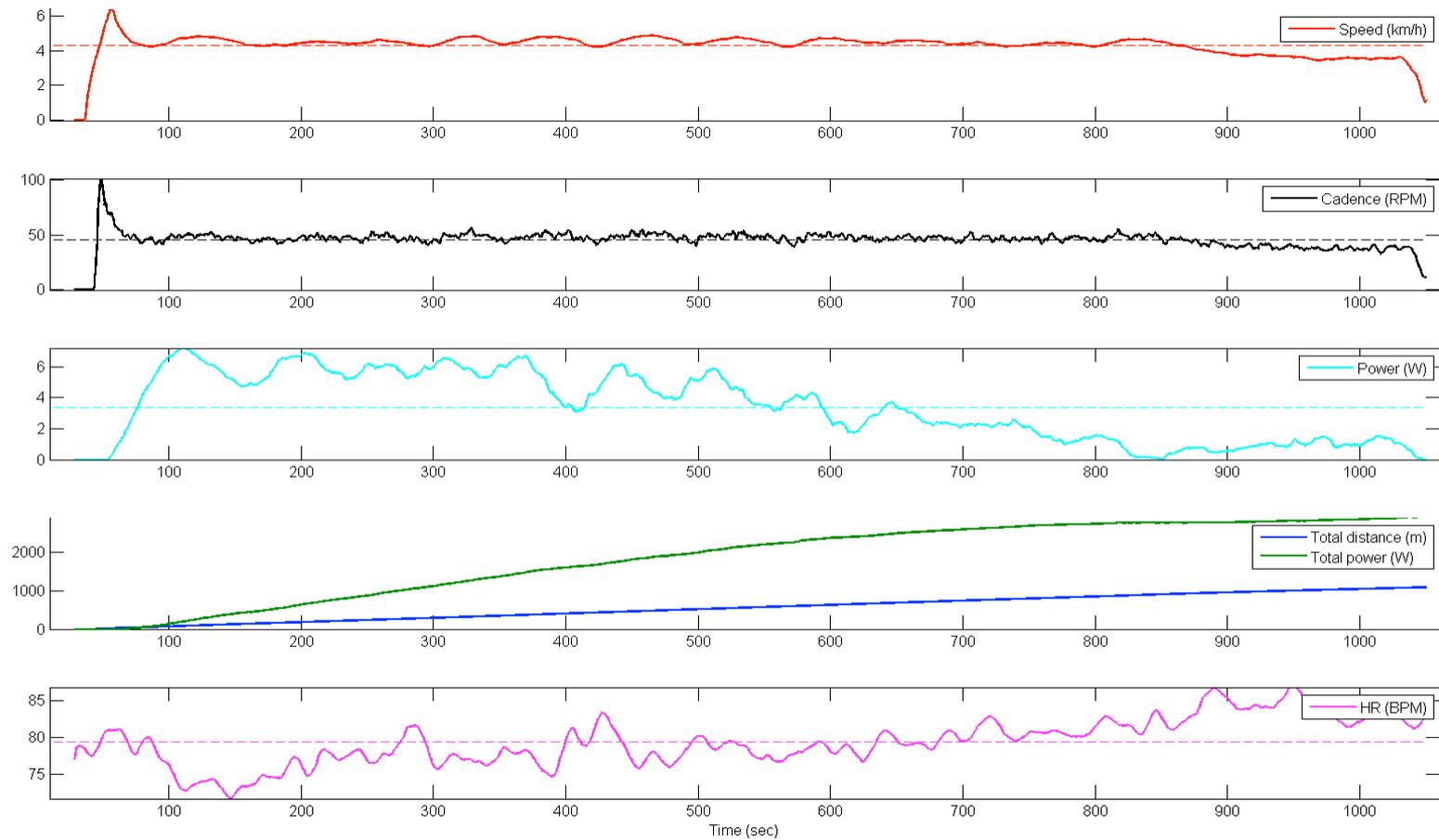


Aventure humaine : préparation sur plus d'une année

Suivi longitudinal des

- performances
- variables physiologiques
- Variables psycho-sociologiques (estime de soi, qualité de vie...)





# Assistance au pédalage chez le sujet paraplégique



Perspectives scientifiques et cliniques

- généraliser les résultats
- endurance / adaptabilité (réaliste)

Modélisation, optimisation, instrumentation

Nouveau protocole (impliquant Jérôme)



# Merci !



<https://freewheels.inria.fr>

*David Guiraud, David Andreu, Mitsuhiro Hayashibe, François Bonnetblanc, Philippe Fraisse, Charles Fattal, Jérôme Froger, Jacques Teissier, Bertrand Coulet, Bernard Espiau, Roger Pissard Gibollet, Rodolphe Héliot, Jovana Jovic, Benoît Sijobert, Wafa Tigra, Annie Aliaga...*