AMPR, Saint Gobain, 2 Juin 2018

Interfaces cerveau-machine

Dr Vincent TIFFREAU MCU-PH au CHRU de Lille









Comprendre ce qu'est une Interface cerveau-ordinateur

Comprendre ce qu'est une Interface cerveau-ordinateur

Connaitre les différentes technologies existantes

Comprendre ce qu'est une Interface cerveau-ordinateur

Connaitre les différentes technologies existantes

Connaitre les applications, les indications, les limites

Comprendre ce qu'est une Interface cerveau-ordinateur

Connaitre les différentes technologies existantes

Connaitre les applications, les indications, les limites

Exemple de développement d'une interface Hybride EEG-EMG

Qu'est-ce qu'une interface cerveau ordinateur

 Utiliser des "signaux" d'origine cérébrale pour interagir avec une machine

Quest ce qu'une interface cerveau ordinateur

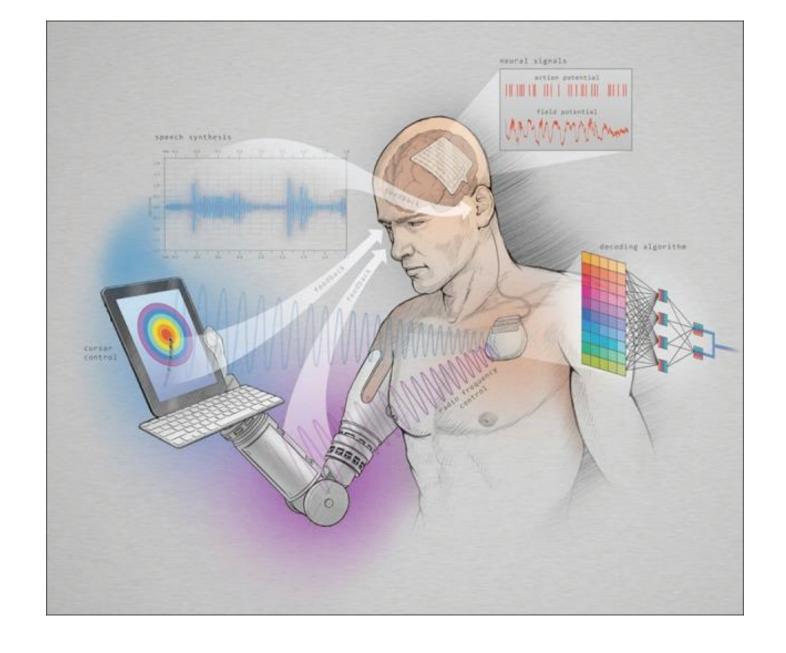
 Utiliser des "signaux" d'origine cérébrale pour interagir avec une machine

Utiliser ces signaux pour plusieurs applications

Quest ce qu'une interface cerveau ordinateur

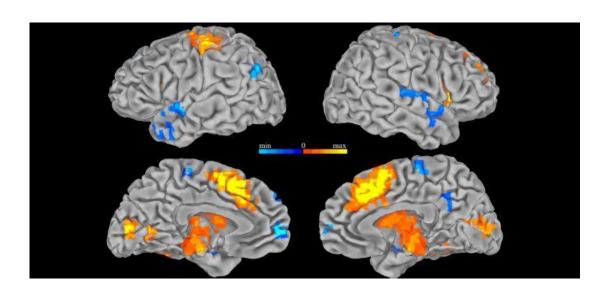
 Utiliser des "signaux" d'origine cérébrale pour interagir avec une machine

- Utiliser ces signaux pour plusieurs applications
 - Suppléer une incapacité: ex : la communication, la locomotion
 - Moduler son activité cérébrale à des fins thérapeutiques : neurofeedback



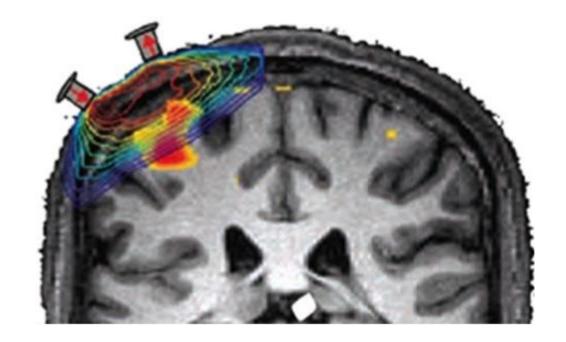
In: Rowland NC, Surg Neurol Int, 2013

Activité métabolique = IRMf



Activité métabolique = IRMf

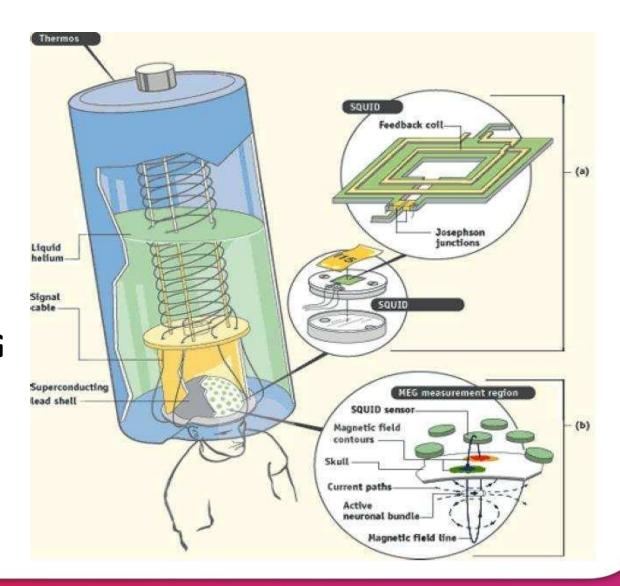
Variations d'oxygenation: NIRS

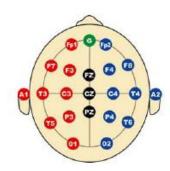


Activité métabolique = IRMf

Variations d'oxygenation: NIRS

Magnétoencéphaographie = MEG





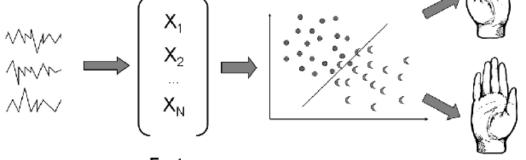
Activité métabolique = IRMf

Variations d'oxygenation: NIRS

Magnétoencéphaographie = MEG

• EEG





EEG signals

Ex: signal recorded during left or right hand motor imagery Feature extraction

Ex: band power in the μ and β rhythms for electrodes located over the motor cortex Classification

Ex: Linear Discriminant Analysis (LDA) Estimated class

Ex: Left or Right (imagined hand movement)

• Dépendants-indépendants

Invasifs-non invasifs

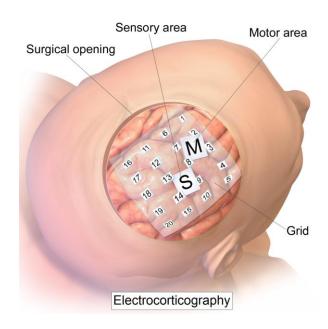
• Synchrones-asynchrones

- Dépendants-indépendants
 - Indépendants = Systèmes n'utilisant que les signaux EEG
 - Si aucun contrôle moteur
 - Mais moins rapide
 - Dépendant = EEG+EMG (hybride) ou oculomotricité, ou modifications des rythmes par un stimulus (PEV)

• Dépendants-indépendants

Invasifs-non invasifs

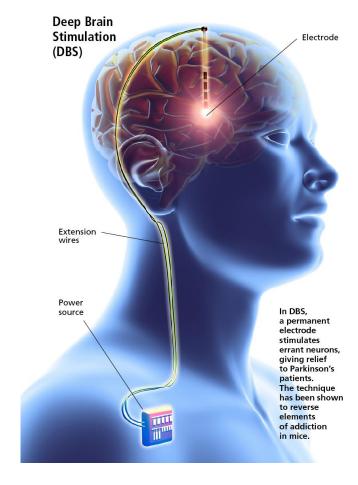
• Invasifs : électrodes implantées



Dépendants-indépendants

Invasifs-non invasifs

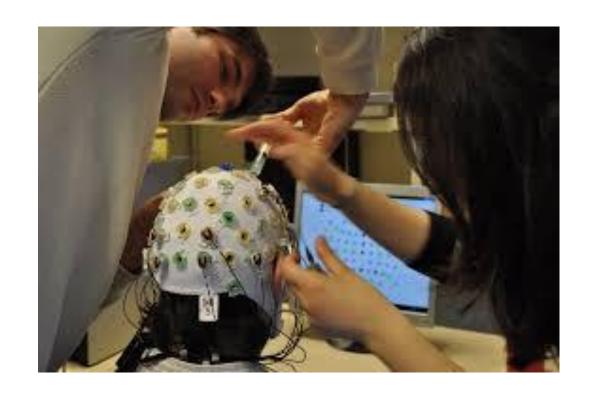
• Invasifs : électrodes implantées possibilités d'utiliser les signaux des patients implantés en intra-cérébral







 Non invasifs : EEG sur le scalp : électrodes filaires ou Wireless, gel ou sèches (bruit)





generation 3.0



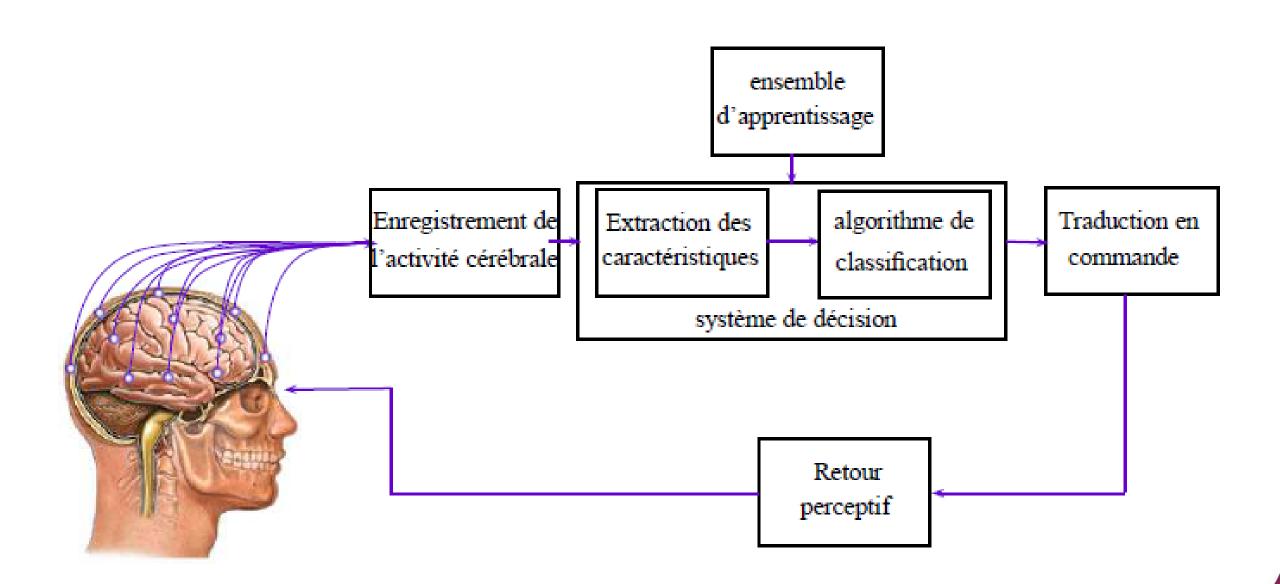


Dépendants-indépendants

Invasifs-non invasifs

Synchrones-asynchrones

- Synchrone : tâche mentale à un moment imposé (ex P300 Speller)
- Asynchrone : tâche mentale à n'importe quel moment



• Activité électrique : EEG

- Activité électrique : EEG
 - Interet théorique:
 - résolution temporelle instantanée (voire intentionnelle)
 - Nécéssite uniquement une tâche mentale (imagerie mentale)

- Activité électrique : EEG
 - Interet théorique:
 - résolution temporelle instantanée (voire intentionnelle)
 - Nécéssite uniquement une tâche mentale (imagerie mentale)
 - Inconvénients :
 - Activité de surface= perte de signal
 - Signal noyé dans du bruit (filtres)
 - Changement de rythme : latence temporelle
 - Faible resolution spatiale

 Le signal est caractérisé par une fréquence (Hz) et une amplitude (μVolt)

 Le signal est caractérisé par une fréquence (Hz) et une amplitude (μVolt)

• Delta : 4 Hz, d'amplitude élevée, en sommeil, region frontale

- Le signal est caractérisé par une fréquence (Hz) et une amplitude (μVolt)
 - Delta : 4 Hz, d'amplitude élevée, en sommeil, region frontale
 - Théta: 4-7 Hz: somnolence éveil

- Le signal est caractérisé par une fréquence (Hz) et une amplitude (μVolt)
 - Delta: 4 Hz, d'amplitude élevée, en sommeil, region frontale
 - Théta: 4-7 Hz: somnolence éveil
 - Alpha: 8-13 Hz, yeux clos, au repos, s'interrompt dès qu'il y a une activité ou un stimulus

- Le signal est caractérisé par une fréquence (Hz) et une amplitude (μVolt)
 - Delta: 4 Hz, d'amplitude élevée, en sommeil, region frontale
 - Théta: 4-7 Hz: somnolence éveil
 - Alpha: 8-13 Hz, yeux clos, au repos, s'interrompt dès qu'il y a une activité ou un stimulus

- Le signal est caractérisé par une fréquence (Hz) et une amplitude (μVolt)
 - Delta: 4 Hz, d'amplitude élevée, en sommeil, region frontale
 - Théta: 4-7 Hz: somnolence éveil
 - Alpha: 8-13 Hz, yeux clos, au repos, s'interrompt dès qu'il y a une activité ou un stimulus
 - Mu (μ); 9-11 Hz amplitude < 50 μ V, front pariétal, modifié par stimulaton, action ou imagerie mentale

- Le signal est caractérisé par une fréquence (Hz) et une amplitude (μVolt)
 - Delta: 4 Hz, d'amplitude élevée, en sommeil, region frontale
 - Théta: 4-7 Hz: somnolence éveil
 - Alpha: 8-13 Hz, yeux clos, au repos, s'interrompt dès qu'il y a une activité ou un stimulus
 - Mu (μ); 9-11 Hz amplitude < 50 μ V, frontopariétal, modifié par stimulaton, action ou imagerie mentale
 - Béta: 13-30 Hz frontal

- Le signal est caractérisé par une fréquence (Hz) et une amplitude (μVolt)
 - Delta: 4 Hz, d'amplitude élevée, en sommeil, region frontale
 - Théta: 4-7 Hz: somnolence éveil
 - Alpha: 8-13 Hz, yeux clos, au repos, s'interrompt dès qu'il y a une activité ou un stimulus
 - Mu (μ); 9-11 Hz amplitude < 50 μ V, frontopariétal, modifié par stimulaton, action ou imagerie mentale
 - Béta: 13-30 Hz frontal
 - Gamma: >30 Hz, éveil et sommeil paradoxal, processus cognitif et motricité

Approche d'interaction : interface cerveau-machine

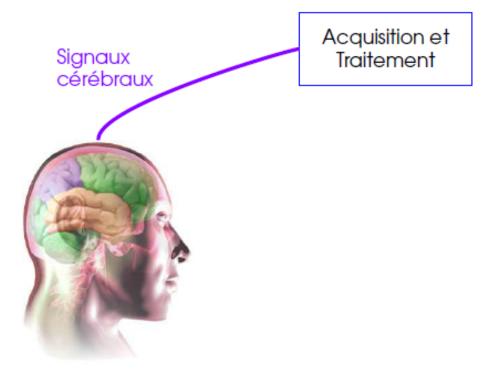








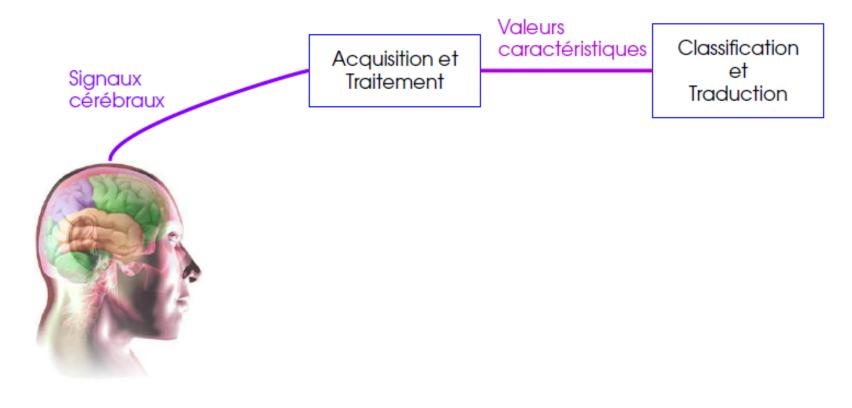
Approche d'interaction : interface cerveau-machine







Conclusion

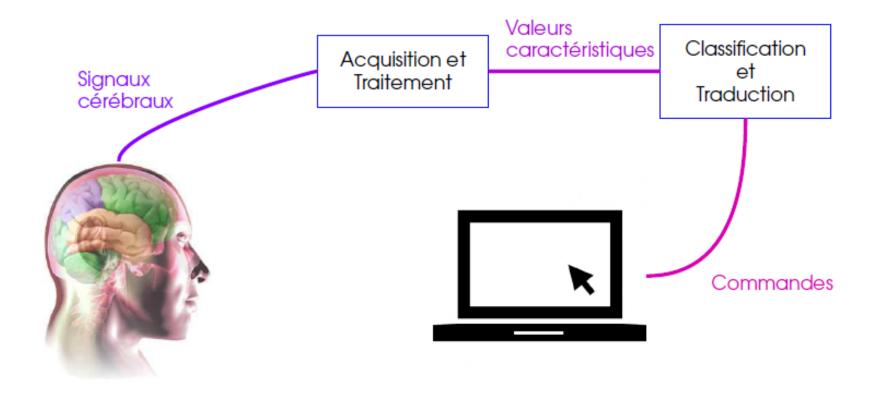








Approche d'interaction : interface cerveau-machine



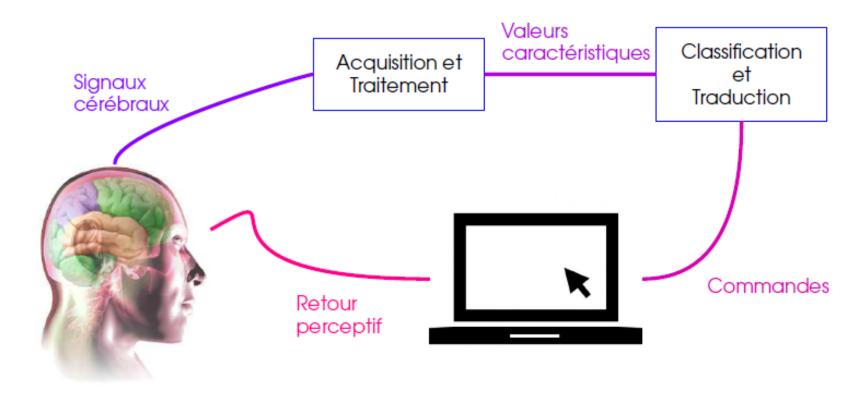




Conclusion



Approche d'interaction : interface cerveau-machine



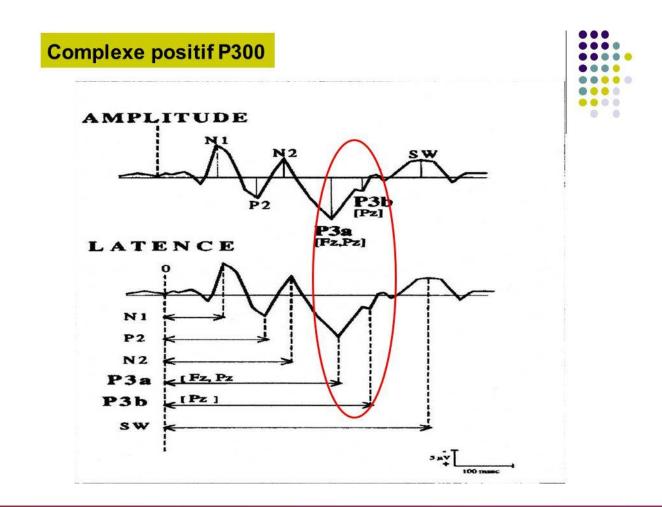




Conclusion



Signaux évoqués : PEV

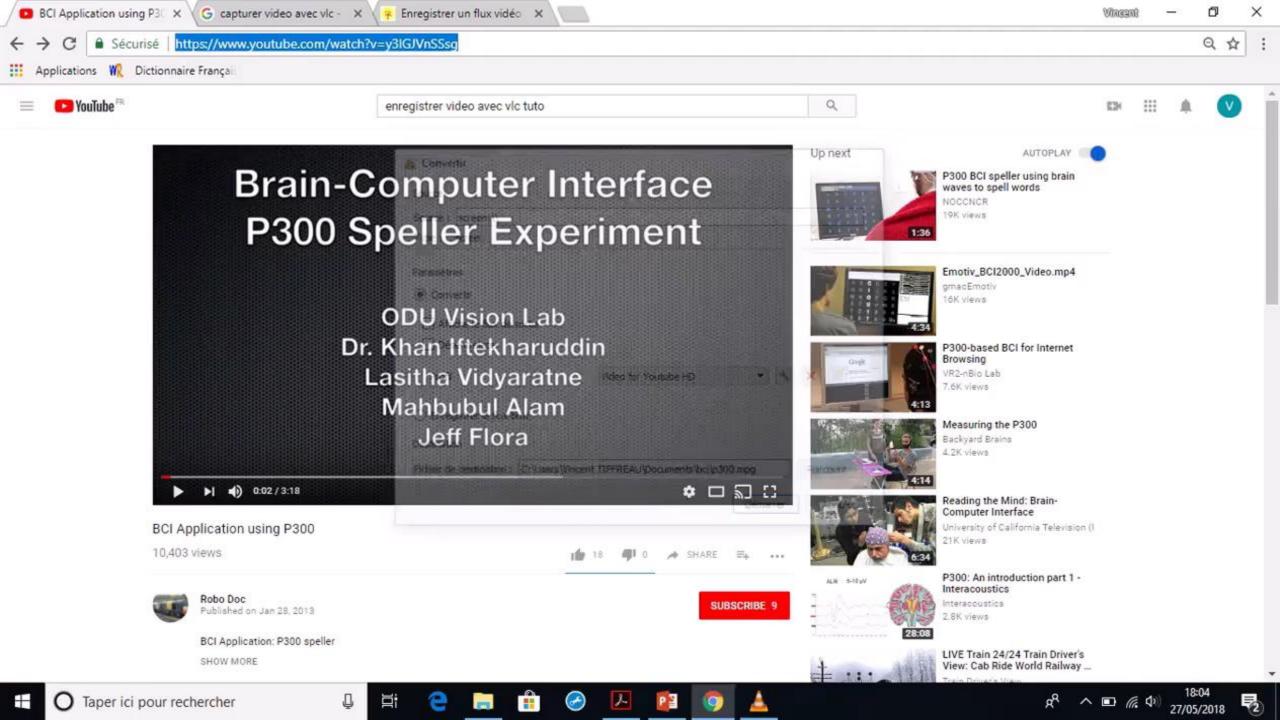


Signaux évoqués : PEV



Figure 1.5 - Matrice de lettres du "P300 speller".

- PE pour un stimulus stable SSEP
- ERP: evoked related potential: stimulus rare et pertinent (ex P300 Speller) le patient compte quand apparait la lettre dans une serie de lettres et de colonnes



• Signaux spontanés : consiste à modifier par une tâche mentale un rythme

- Signaux spontanés : consiste à modifier par une tâche mentale un rythme
 - Tâches cognitives non motrices : calcul

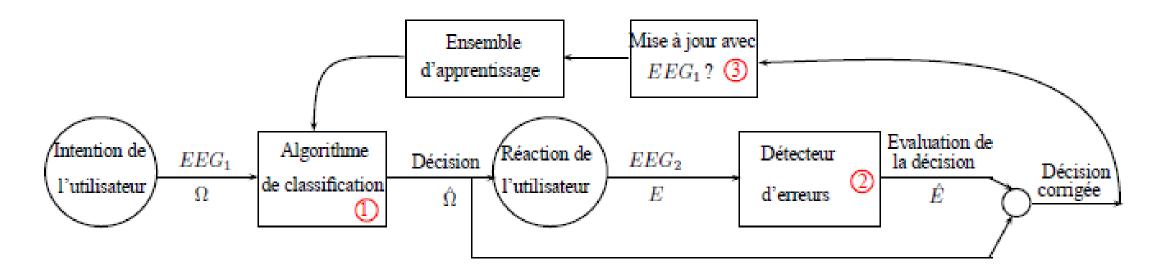
- Signaux spontanés : consiste à modifier par une tâche mentale un rythme
 - Tâches cognitives non motrices : calcul
 - Rythmes sensori-moteurs : ($\mu = 8-13$ Hz et bétas= 13-30Hz)
 - Apprentissage des modulations de rythmes : conditionnement (tâche libre)
 - Imagerie mentale : mouvement précis (plus rapide)

- Signaux spontanés : consiste à modifier par une tâche mentale un rythme
 - Tâches cognitives non motrices : calcul
 - Rythmes sensori-moteurs : ($\mu = 8-13$ Hz et bétas= 13-30Hz)
 - Apprentissage des modulations de rythmes : conditionnement (tâche libre)
 - Imagerie mentale : mouvement précis (plus rapide)
 - Potentiels corticaux lents : résolution temporelle plus longues

Comment le système reconnait les changements de rythmes et les différencie ?

Comment le système reconnait les changements de rythmes et les différencie ?

- Algorythmes de decision : permet de classer par un calcul de probabilité le signal dans une catégorie
- Ex:



Comment le système reconnait les changements de rythmes et les différencie ?

 Algorythmes de decision : permet de classer par un calcul de probabilité le signal dans une catégorie

Notion de degrés de liberté : binaire ou plus complexe?

Exemple de dévelopement d'une interface cerveau ordinateur hybryde (asynchrone+EMG)

A Dupré, F Cabestaing

• Cible

• Patients présentant une déficience motrice sévère avec risque de perte de la

commande du joystick : DMD





Exemple de dévelopement d'une interface cerveau ordinateur hybryde (asynchrone+EMG)

A Dupré, F Cabestaing

- Cible
 - Patients présentant une déficience motrice sévère avec risque de perte de la commande du joystick : DMD
- Principe
 - Vérification de la bonne corélation entre la tâche motrice et les modulations de rythme EEG

Exemple de dévelopement d'une interface cerveau ordinateur hybryde (asynchrone+EMG)

A Dupré, F Cabestaing

Cible

 Patients présentant une déficience motrice sévère avec risque de perte de la commande du joystick : DMD

Principe

 Vérification de la bonne corrélation entre la tâche motrice et les modulations de rythme EEG

Apprentissage

Dans le but de suppléer complètement la perte de la commande motrice

Ressources matérielles et logicielles

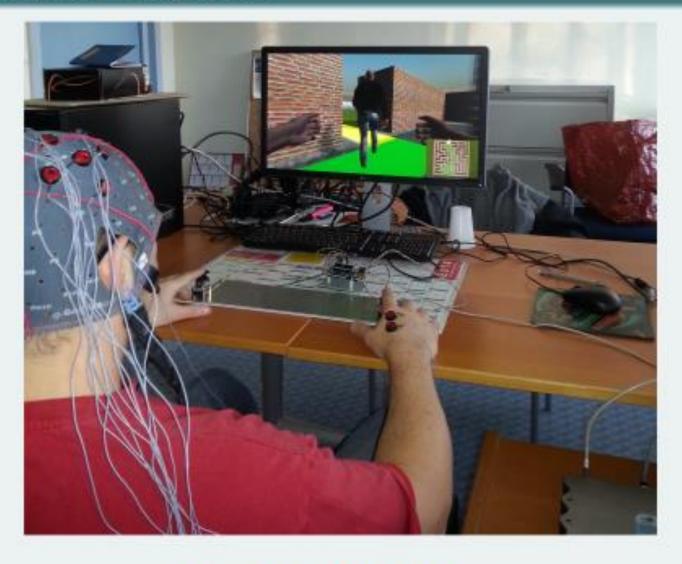


FIGURE: Notre ICM hybride

Ressources matérielles et logicielles

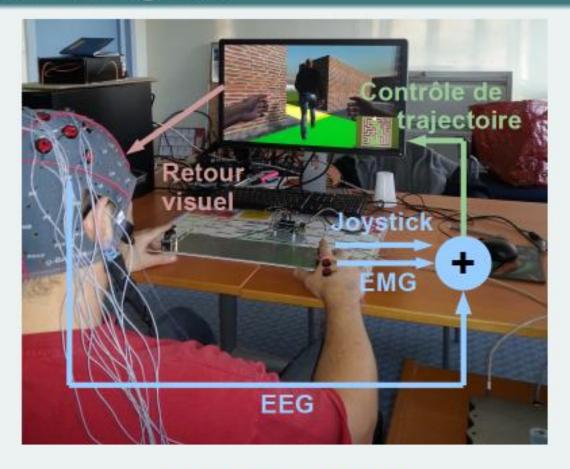
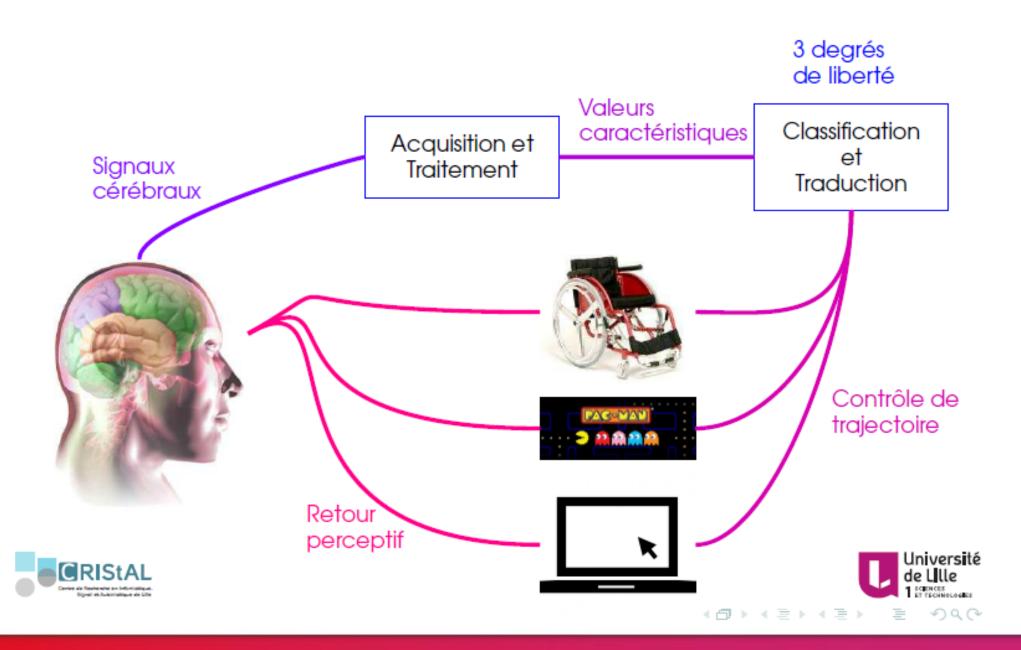


FIGURE: Notre ICM hybride

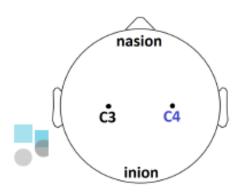
- PC 1 : traitement des signaux en temps-réel par OpenVIBE.
- PC 2 : affichage de l'application.

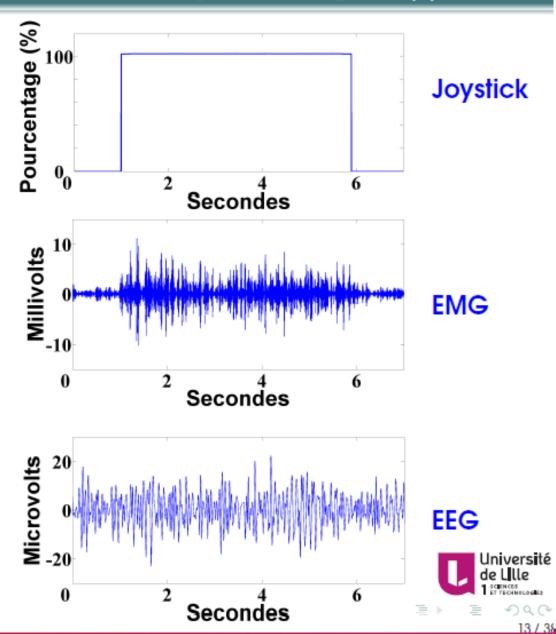


Aspect des signaux : mouvement main gauche (signal I(t))

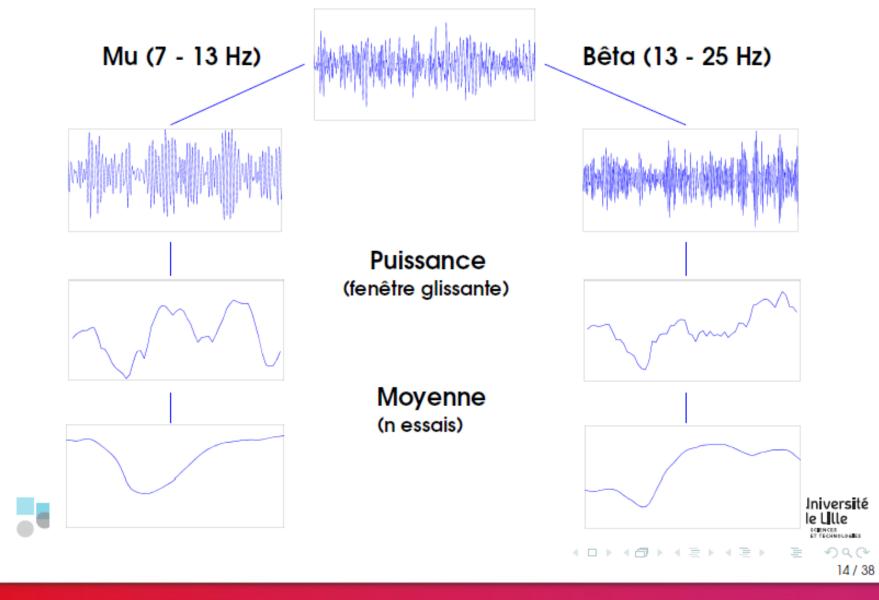




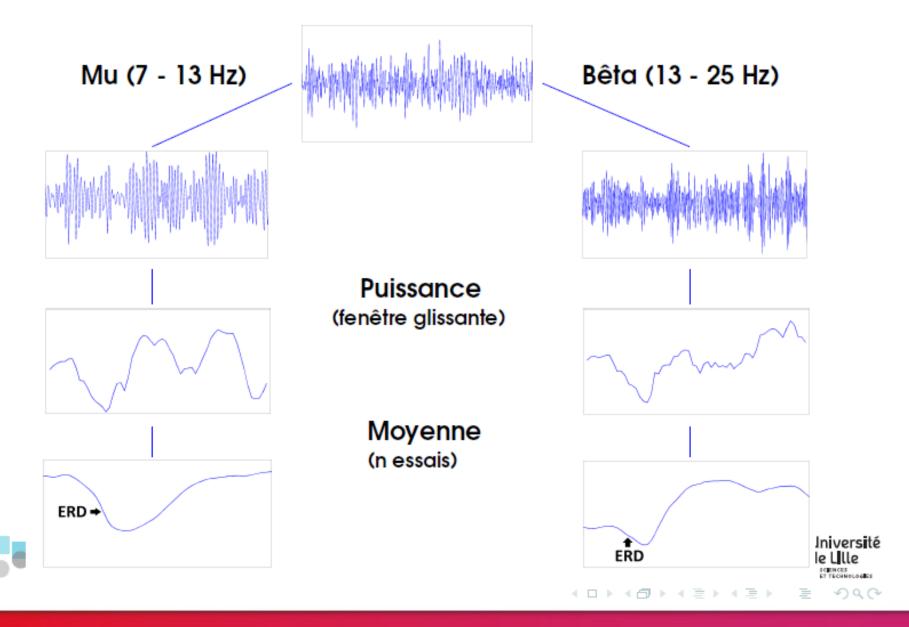




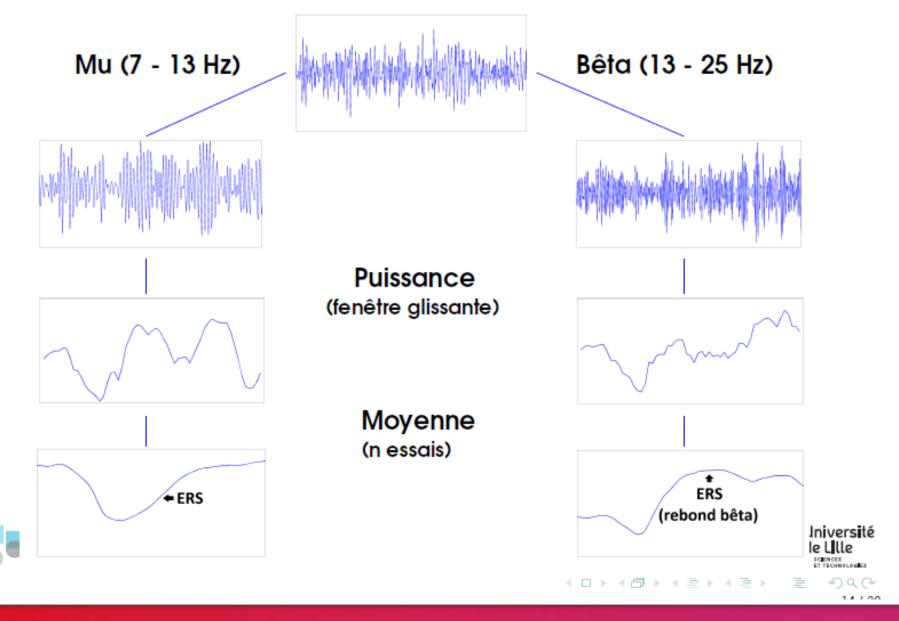
Motifs neurophysiologiques



Motifs neurophysiologiques



Motifs neurophysiologiques



Motifs ERD/ERS

Variabilité selon les individus

- Bande de fréquences.
- Intervalle de temps.

Méthodes automatiques

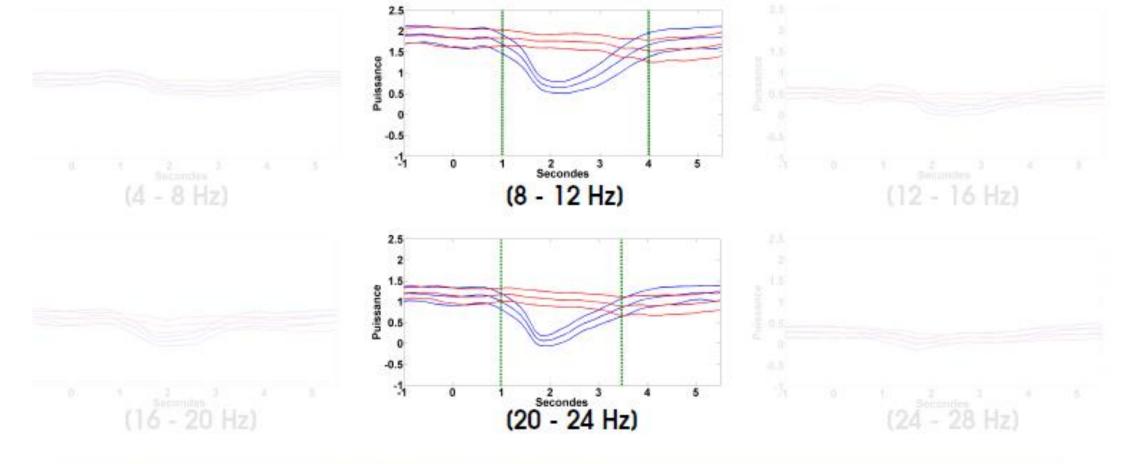
- Sélection des bandes de fréquences spécifiques à l'utilisateur (Ang et coll., Suk et coll., Raza et coll.).
- Sélection optimale sur un jeu de signaux particuliers
- Sujet au sur-apprentissage
- Pas de sélection des intervalles de temps
- Pas de connaissances neurophysiologiques

Notre méthode

- Sélection d'un ensemble d'intervalles temps-fréquence, spécifiques à l'utilisateur.
- Intervention d'un expert humain
- Contrôle de la parcimonie de l'ensemble sélectionné
- Stabilité des valeurs caractéristiques

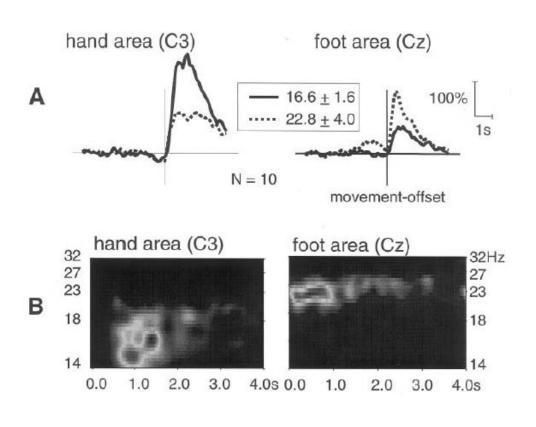


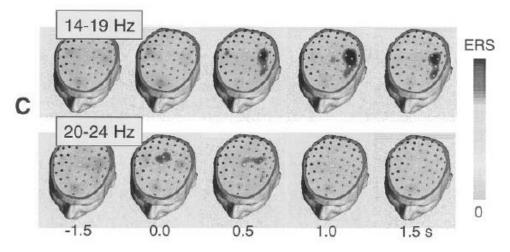
Notre méthode : exemple main gauche Signal C4 (4 - 8 Hz) (8 - 12 Hz) (12 - 16 Hz) (16 - 20 Hz) (20 - 24 Hz) (24 - 28 Hz) Puissance (fenêtre glissante) Moyenne (n essais) Gauche Vs. Droite



Critères de sélection des intervalles temps-fréquence

- Motifs ERD/ERS.
- Parcimonie.
- Performance de classification (hors-ligne).





Contrôle de trajectoire

Direction et orientation

- Contrôle avec trois degrés de liberté :
 - mouvement main gauche.
 - mouvement main droite.
 - mouvements mains droite et gauche.
- Adaptable à un environnement 3D et 2D (curseur de souris).

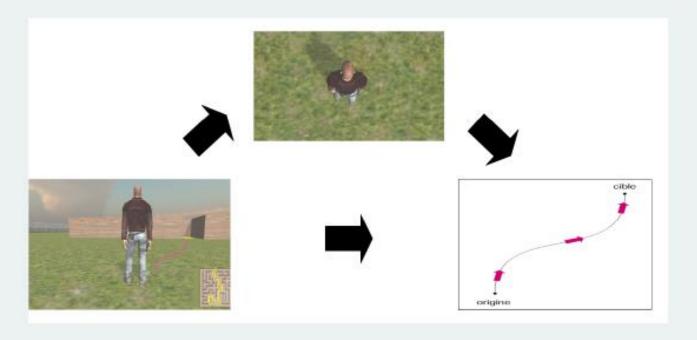




FIGURE: Transfert 3D vers 2D.



Protocole expérimental

- Nombre de sujets : 9.
- Contrôle de l'application labyrinthe.
- Séance 1 : signaux joysticks.
- Séance 2 : signaux EMG (sujets non informés).
- Indice de performance : temps mesuré en secondes.



Application labyrinthe

Effets évalués

- Apprentissage du contrôle de trajectoire
- Changement de signaux

Expérimentations avec des patients myopathes

Objectifs

- Evaluer le contrôle de trajectoire, avec trois degrés de liberté.
- Recueillir des signaux EEG étiquetés lors de mouvements des mains et des pieds.

Recrutement des patients myopathes de Duchenne

Centre Hélène Borel (Lomme).



Centre Hélène Borel

- Critères d'inclusion :
 - motricité résiduelle des mains.
 - motivation des patients.
- 2 hommes (20 et 28 ans).



Expérimentations avec des patients myopathes

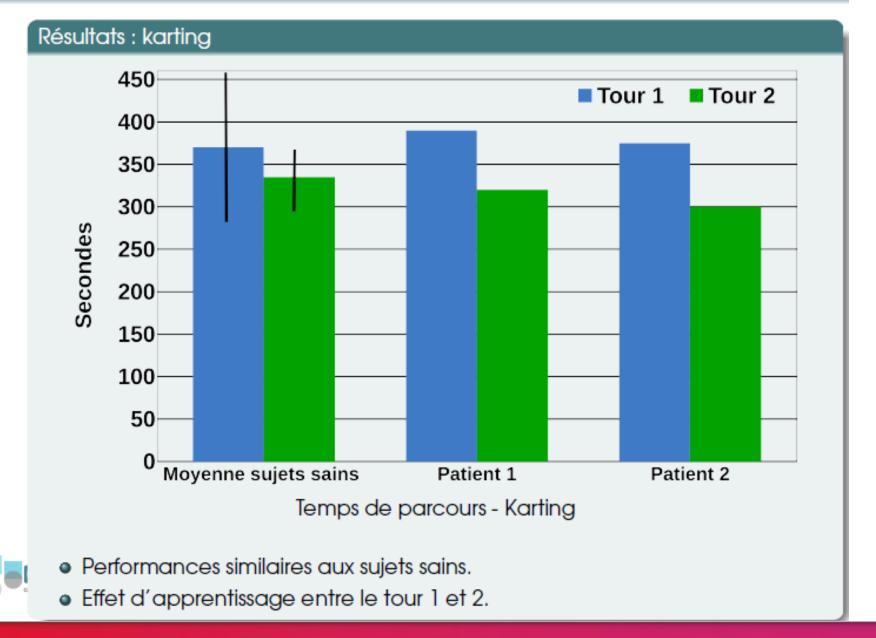
Vidéo de l'expérimentation



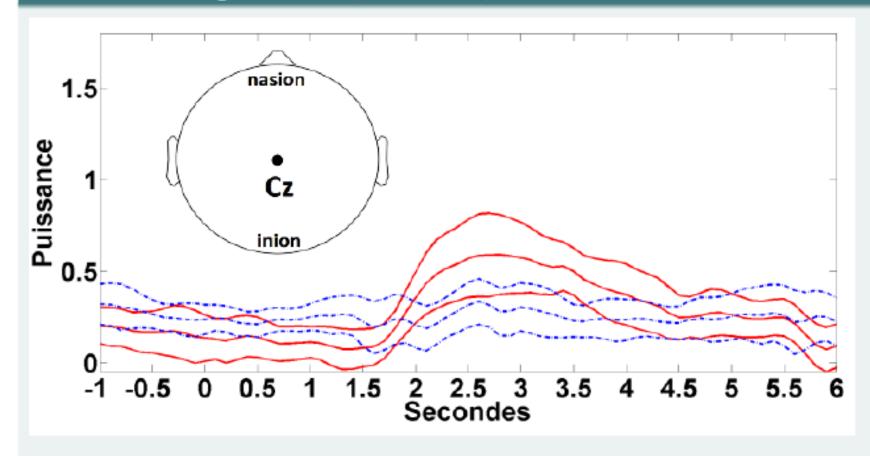


• Envoi des commandes malgré des mouvements faibles.

Expérimentations avec des patients myopathes



Traitement des signaux EEG : pieds vs. repos



- Signal Cz filtré entre 12 16 Hz.
- Rebond bêta.
- Possibilité de détecter un mouvement des pieds, sans signaux EMG et joysticks.

Conclusion

Méthode de traitement des signaux EEG

- Sélection d'intervalles temps-fréquence.
- < méthodes automatiques : motifs ERD/ERS peu visibles.
- Contrôle la parcimonie.

Contrôle de trajectoire

- Orientation et direction avec trois degrés de liberté :
 - mouvement main gauche.
 - mouvement main droite.
 - mouvements mains gauche/droite.
- Technique d'interaction unique pour le contrôle de trajectoire de mobiles dans différentes applications.

Expérimentations avec des patients myopathes

- Expérimentation à domicile : matériel portatif.
- Performances similaires à celles des sujets sains.
- Rebond bêta : envoi d'une commande supplémentaire.

Applications

• Les patients en LIS sans contrôle de la commande oculaire

• Le neurofeedback?





Publications

Workshops

BNCI Cluster

Jobs

Contact

University of Glasgow, Qualilife S.A, Stiftung Orthopaedische Universitaetsklinik Heidelberg, Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Kreuznacher Diakonie, Associazione Italiana per l'Assistenza agli Spastici della Provincia di Bologna, University of Wuerzburg, Medel GmbH.

■ Contact persons: Prof. José del R. Millán

TOBI will design non-invasive BCI prototypes that will be combined with existing assistive technologies and rehabilitation protocols. In such a hybrid approach users can couple brain interaction with muscle-based interaction or can naturally switch between the different ways of interacting.

Non-invasive BCI are based on electroencephalogram (EEG) signals. The EEG is recorded through electrodes placed on the user's head. This technology is not invasive and only records the electrical activity of the brain without interfering with it.

TOBI is expected to have an impact by broadening the appropriate use of BCI assistive technology, by incorporating adaptive capabilities that augment those other assistive technologies they are combined with.

The consortium has identified four application areas where BCI assistive technology can make a real impact for people with motor disabilities:

- Communication & Control
- Motor Substitution
- Entertainment
- Motor Recovery

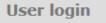
After a pre-clinical validation the BCI assistive solutions will be tested and evaluated in real life situations by different populations of endusers.

• Hirngesteuert zu neuem Leben

 Handicapés, ils pilotent une machine par la pensée

 Quand la pensée prend le contrôle des machines

more



Username: *

Password: *

Log in

Request new password





















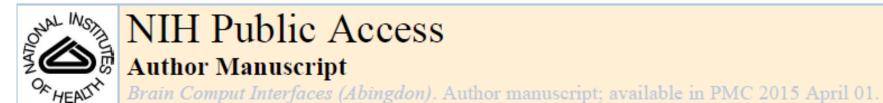




 http://archiveweb.epfl.ch/www.tobi-project.org/motorsubstitution.html

• http://archiveweb.epfl.ch/www.tobi-project.org/2013/10/16/video-meet-francesco-and-see-how-eu-research-tobi-making-difference-peoples-lives.html

https://www.youtube.com/watch?v=Yhv7mSuFljo



Published in final edited form as:

Brain Comput Interfaces (Abingdon). 2014 April 1; 1(2): 126-136. doi:10.1080/2326263X.2014.912885.

Affective Brain-Computer Interfaces As Enabling Technology for Responsive Psychiatric Stimulation

Alik S. Widge, MD, PhD^{1,2,*}, Darin D. Dougherty, MD, MSc¹, and Chet T. Moritz, PhD³

¹Department of Psychiatry, Massachusetts General Hospital, Charlestown, MA, USA, and Harvard Medical School, Boston, MA, USA

²Picower Institute for Learning & Memory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA

³Departments of Rehabilitation Medicine and Physiology & Biophysics, Graduate Program in Neuroscience, and the Center for Sensorimotor Neural Engineering, University of Washington, Seattle, WA, USA

