

Y a-t-il une place pour les interfaces cerveaux-machines dans l'évaluation de patients non-répondant ?

Perrine Séguin

Doctorante en neurosciences

Médecin en Médecine Physique et de Réadaptation

Centre de Recherche en neurosciences de Lyon, équipe COPHY

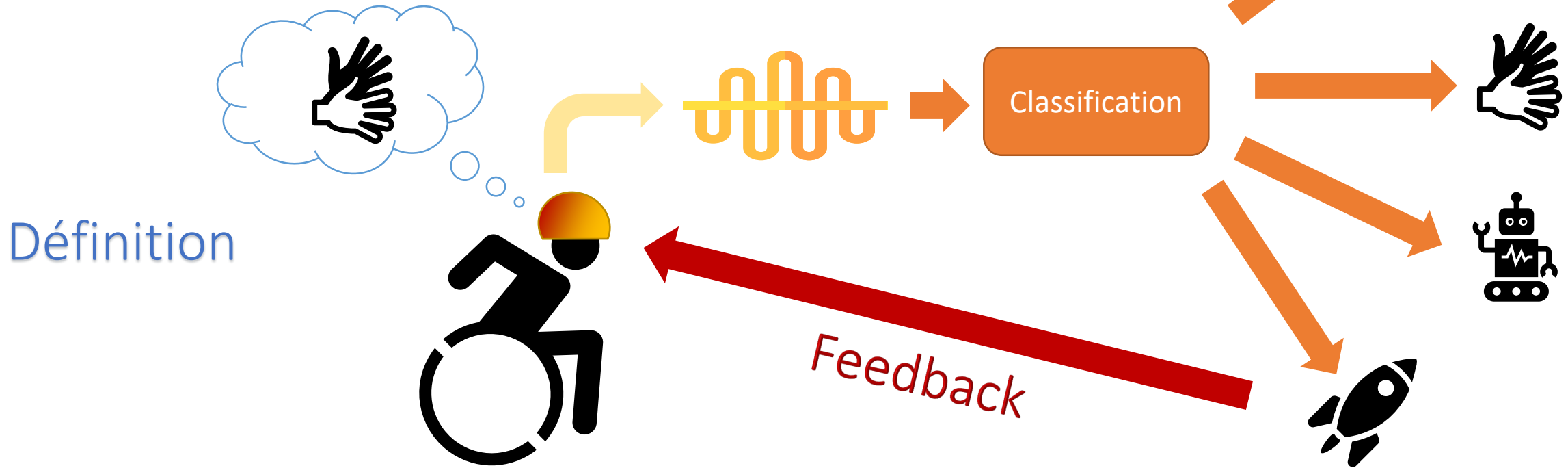
Perrine.seguin@inserm.fr



2 février 2023



Interface cerveau-machine (ICM)



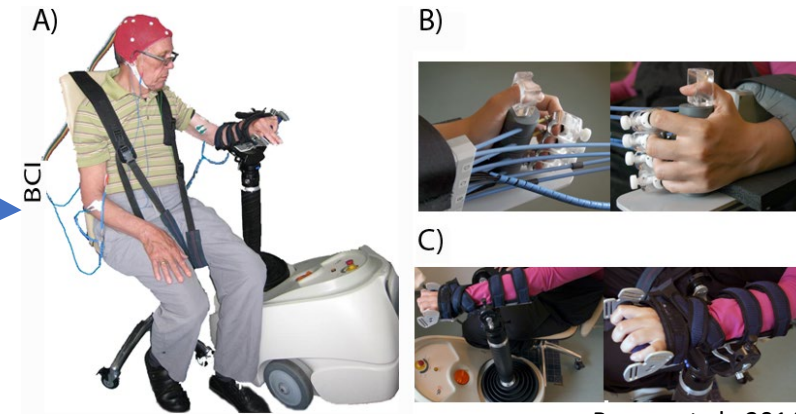
Calibration

Test

Evaluations : fiabilité, performances, satisfaction

ICM: pourquoi faire ?

- **Loisirs** : jeux, multimédia, loisirs créatifs
- **Recherche en neuroscience et neuroréhabilitation** :
 - **Neurofeedback** :
 - Rééducation motrice
 - Rééducation des troubles attentionnels
 - **Communication** : verbale, non verbale
 - **Diagnostic** : **détection de la « conscience »**, bilan neuropsychologique, ...
 - **Supplémentation motrice** : exosquelettes, bras robotisé, stimulation électrique fonctionnelle, commande d'un fauteuil roulant, ...
 - **Monitoring**



Ramos et al., 2014

Interfaces cerveau-machine (ICM)

Du concept scientifique

*« Dans notre perspective actuelle, une quatrième fonction est proposée :
un moyen de contrôle sur des processus externes, tels que des ordinateurs ou des prothèses. »*

Jacques Vidal, 1973

à la promesse marketing

*« Je pense qu'avec Neuralink, nous avons une chance de restaurer la fonctionnalité
de tout le corps d'une personne atteinte d'une lésion de la moelle épinière. »*

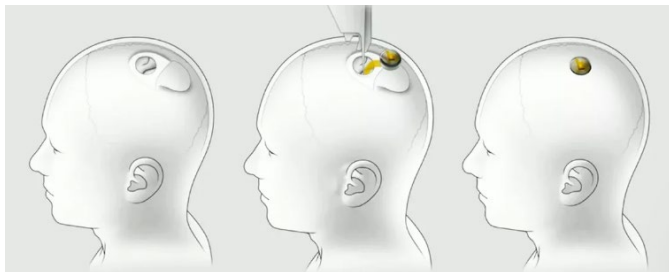
Elon Musk, 2021

Elon Musk shows Neuralink brain implant working in a pig



Aug. 29, 2020

"It's like a Fitbit in your skull," the SpaceX and Tesla leader says of Neuralink's brain-computer link technology.



Almost everyone has neurological problems over time, so we need a generalized brain device that is reliable and affordable

Memory Loss

Hearing Loss

Blindness

Paralysis

Depression

Insomnia

Extreme Pain

Seizures

Anxiety

Addiction

Strokes

Brain Damage

Des progrès techniques immenses depuis la définition du concept

1^{er} laboratoire dédié aux interfaces cerveau-machine

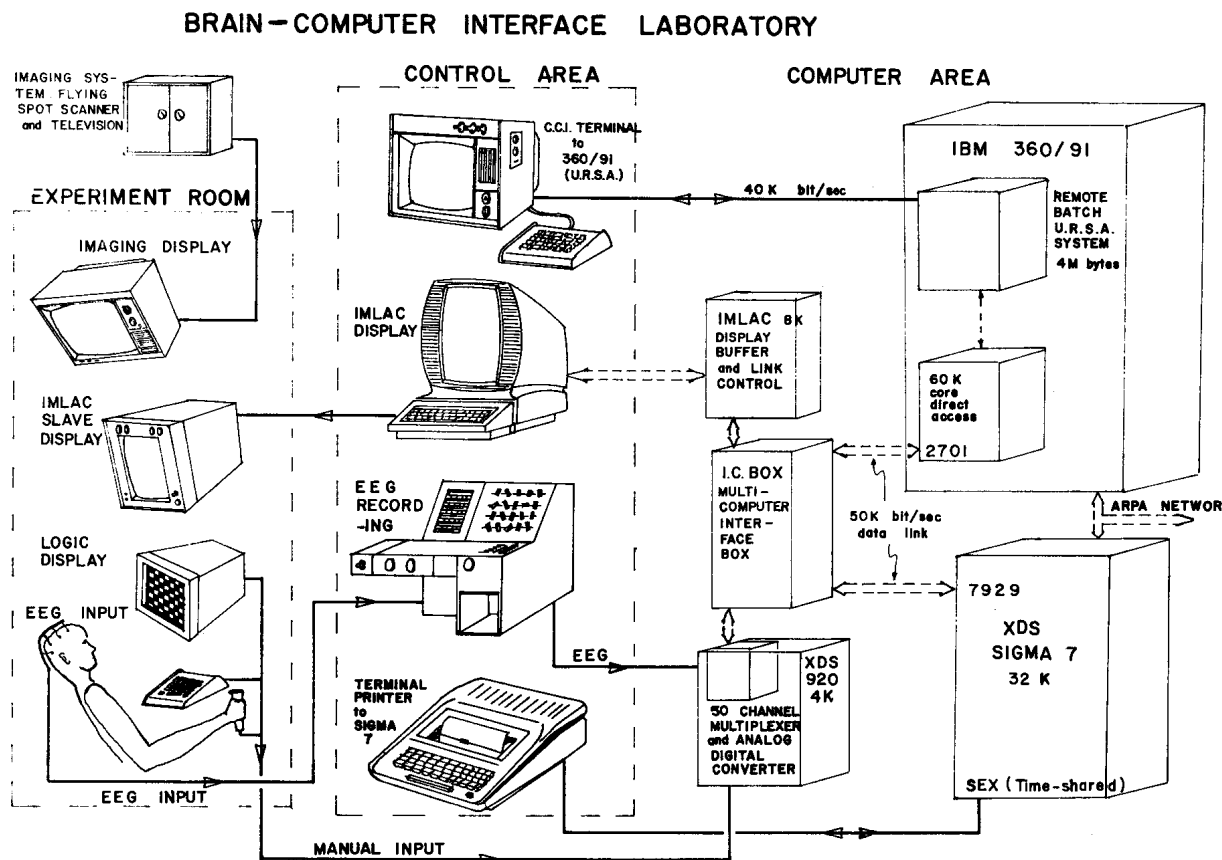


FIGURE 2. General organization and computer architecture of the Brain-Computer Interface Laboratory at UCLA.

Vidal, 1973

Dispositif de recherche utilisé au lit du/de la patient-e dans une chambre d'hôpital



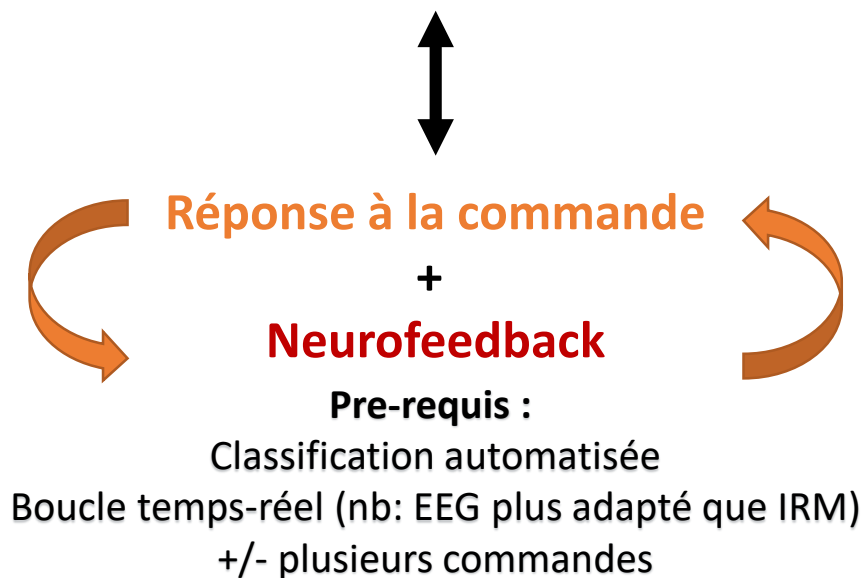
2022

Une promesse qui imprègne même la littérature scientifique sur les troubles de conscience

Parfois jusque dans l'abstract: *"With the emergence of **Brain Computer Interfaces (BCI)**, **clinicians** have been facing a new group of patients with severe acquired brain injury who are unable to show any behavioral sign of consciousness but respond to active neuroimaging or electrophysiological paradigms"*

"What names for covert awareness? A systematic review", Schnakers, Bauer, [...], Thibaut, Estraneo 2022

-> Ici (et ailleurs) le terme **Interfaces cerveau-machine** est utilisé pour désigner tous **les paradigmes actifs**



Réponse à la commande (cérébrale)

Et le terme « **clinicians** » est utilisé ici pour désigner aussi (surtout ?!) les chercheurs/ingénieurs

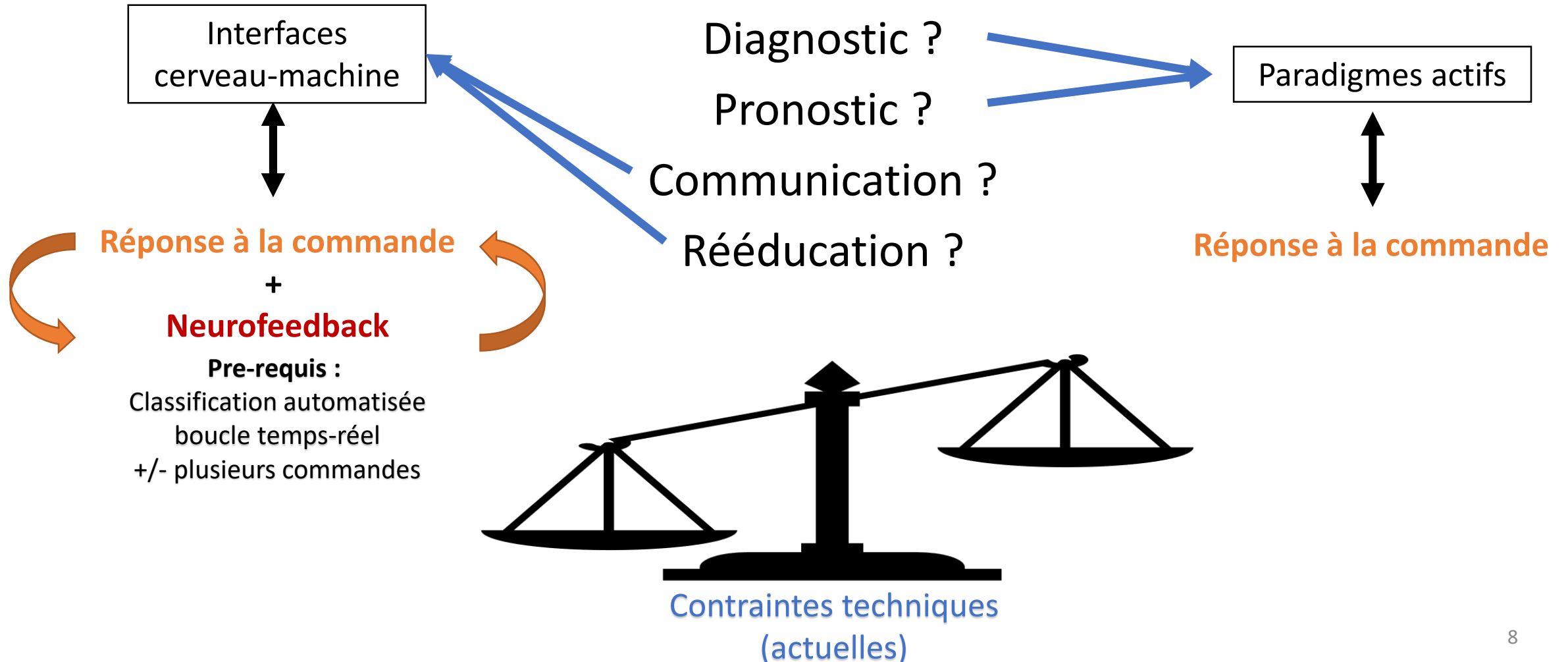
Paradigmes actifs et interfaces cerveau-machine : similarités

- Marqueurs principaux
 - Rythmes sensorimoteurs
 - Cruse, 2011 ; Claassen, 2019
 - Potentiels évoqués type P300 (modulés par l'attention volontaire)
 - Morlet, 2022



- Automatisation croissante des analyses de paradigmes actifs
 - Expansion de l'apprentissage automatique (classifiers)
- Hardware
 - EEG
- Certains patients cibles
 - Les « non-répondant » comportementaux, qui sont/pourraient être répondeurs aux protocoles EEG actifs
 - Dits en « Dissociation cognitivo-motrice », ou « covert awareness » ou « complete locked-in »
 - 10 à 20 % des patients EVC-EPR

L'espoir : valeur ajoutée théorique des ICM dans l'exploration de la conscience



La confrontation clinique

EEG-based Brain-Computer Interfaces for **people with Disorders of Consciousness**:
Features and applications. A systematic review.

Galiotta, 2022

27 études

TABLE 1 The table presents the number of studies which employed a specific control signal for each application (within each cell).

	P300 ERP	h-BCI (P300, SSVEP)	SMRs	Power spectra	Total “Applications” <i>n</i> (%)
Assessment	19	3	4	1	26 (96.3%)
Communication	6	1	2	–	7 (25.9%)
Prognosis	1	1	–	–	2 (7.4%)
Rehabilitation	1	–	–	–	1 (3.7%)
Total “Control signals” <i>n</i> (%)	19 (70.4%)	4 (14.8%)	5 (18.5%)	1 (3.7%)	

- Une écrasante majorité d’études s’attellent au diagnostic
 - Réponse à la commande <-> paradigmes actifs
- A défaut de pouvoir communiquer ?
 - La quête d’une calibration robuste ...

La confrontation clinique

EEG-based Brain-Computer Interfaces for **people with Disorders of Consciousness**:
Features and applications. **A systematic review.**

Galiotta, 2022

- Grosses limites méthodologiques :
 - petits nb de patients,
 - Qualités des évaluations cliniques très hétérogènes (pas forcément de CRS-R notamment, et beaucoup d'échelles peu utilisées en clinique)
 - niveau de la chance théorique (au lieu d'ajuster au nombre d'essais)
-> très gros pb car chez les DOC souvent nb de commandes binaires et peu d'essais
- NB : cette revue exclut les études avec des patients qui ont émergé de l'état de conscience minimal ou des LIS

Est-ce que les patients avec un code de communication comportemental ont un meilleur contrôle des ICM ?

- Exemple de l'étude de Lesenfans, 2018 :
- Détection de l'attention = de la réponse à la commande dans plus de 90 % des cas chez les sujets sains et les personnes en locked-in syndrome
- Pas de détection parmi les EVC-EPR
- Détection de la cible de l'attention :
 - Possible chez les sujets sains
 - Impossible chez les patients, même les LIS !

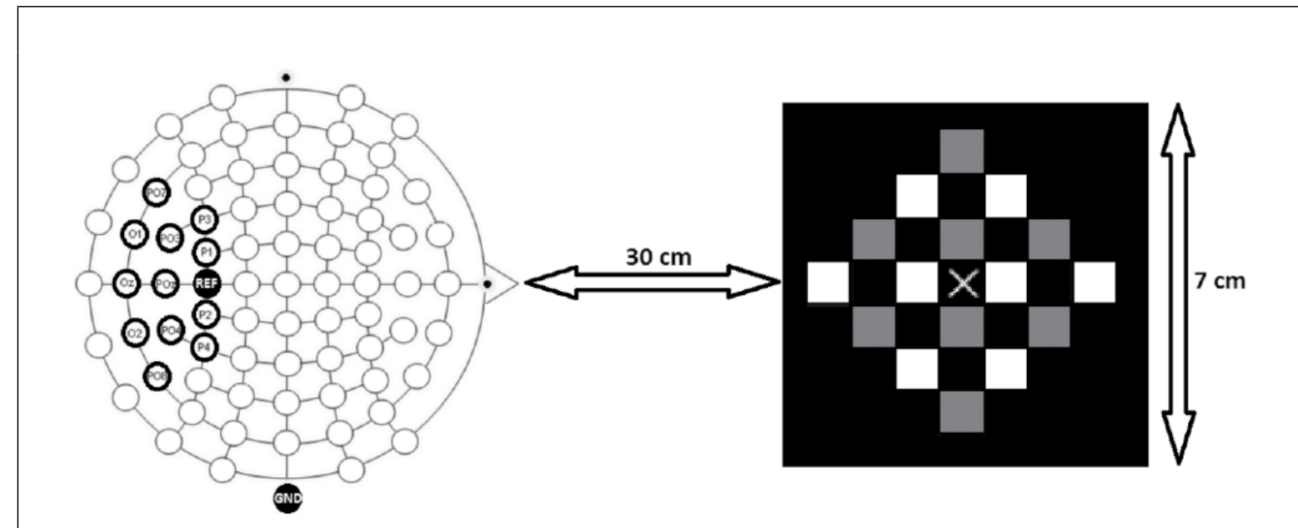


Figure 1. Experimental setup. On the left, the electrode locations. We recorded EEG from 12 posterior electrodes in the standard 10/20 configuration. On the right, the electronic visual stimulation unit: yellow squares (in white) were flashed at a frequency of 10 Hz. Red squares were flashed at 14 Hz (in gray). The subject was seated at 30 cm from the display and was instructed to passively look at the white cross (ie, passive trials) or to focus his attention on the yellow or red flashes (ie, active trials) while looking at the white cross. X is the fixation cross.

Détection de la réponse à la commande, mais pas de différence entre les commandes : difficile de communiquer avec ça !

Est-ce que les patients avec un code de communication comportemental ont un meilleur contrôle des ICM ?

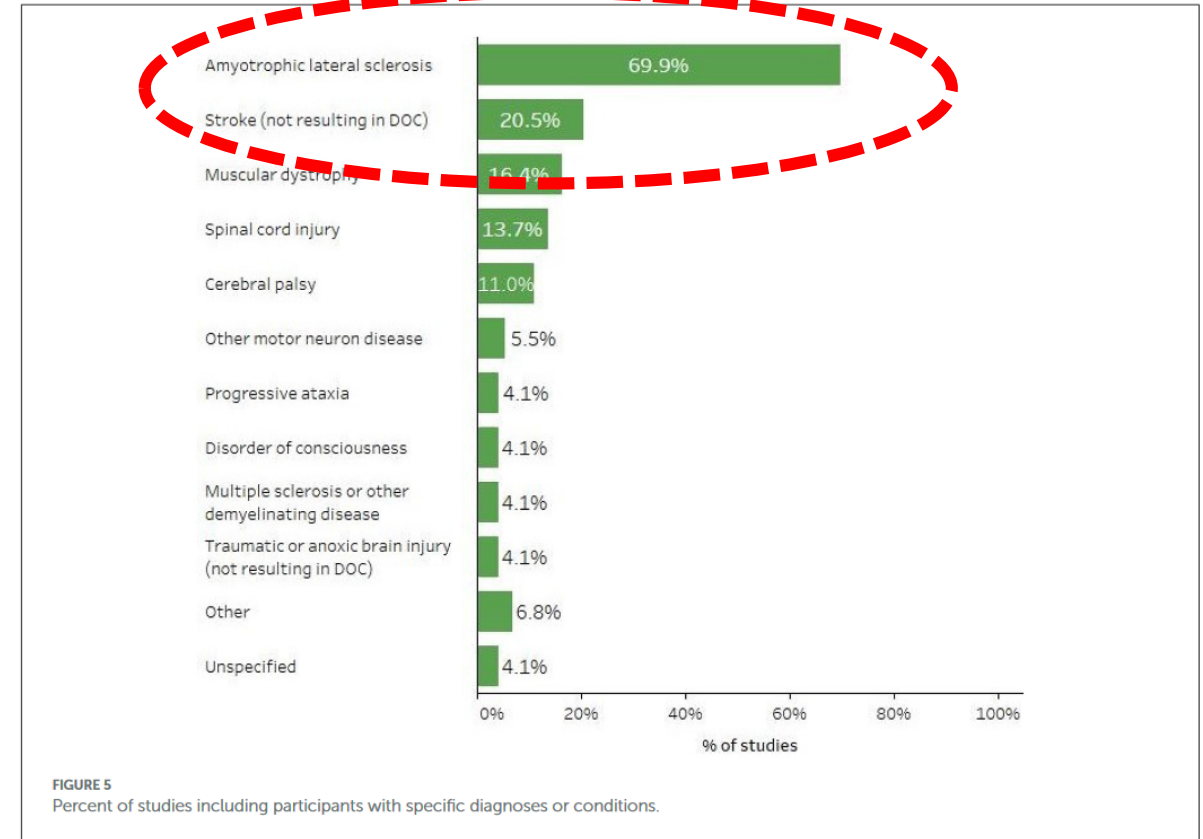
A systematic review of research on augmentative and alternative communication brain-computer interface systems for individuals with disabilities

Peters et al, 2022

TABLE 1 PICOS criteria for the systematic review.

P	Population	Individuals with speech and/or physical impairments
I	Intervention	AAC-BCI systems used for communication tasks
C	Comparison	Individuals without speech or physical impairments
O	Outcomes	Selection accuracy, selection speed/ITR, study and participant characteristics
S	Study designs	Any

- 73 études retenues



A systematic review of research on augmentative and alternative communication brain-computer interface systems for individuals with disabilities

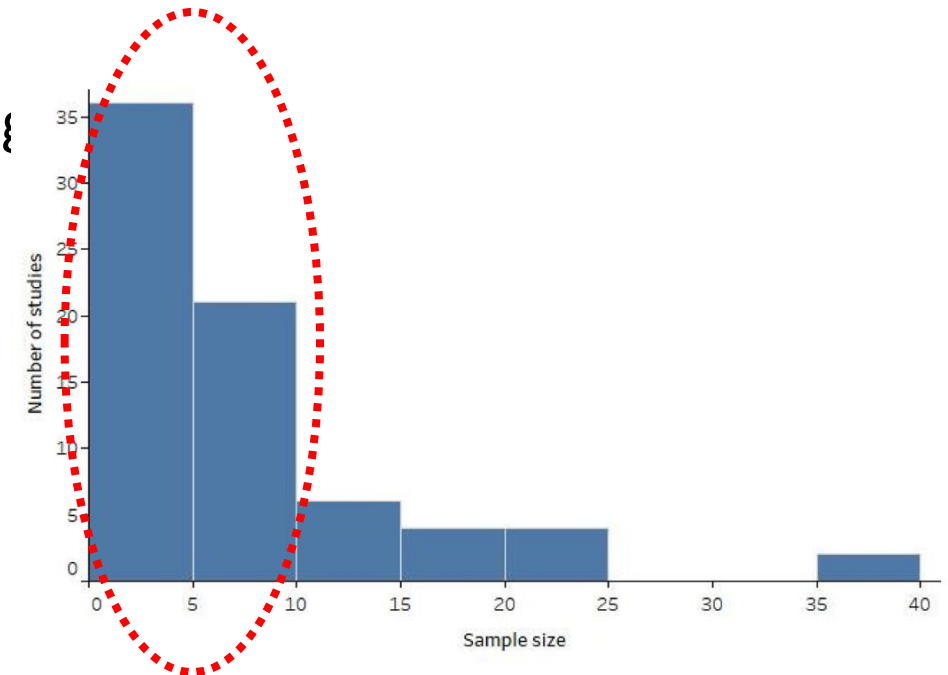
Peters et al, 2022

Beaucoup de limites méthodologiques :

- La plupart des études testent la faisabilité (pas de design expérimental avec comparaisons)
 - Très petits effectifs
 - Peu de description du mode d'inclusion
- Profils cliniques peu décrits

Résultats :

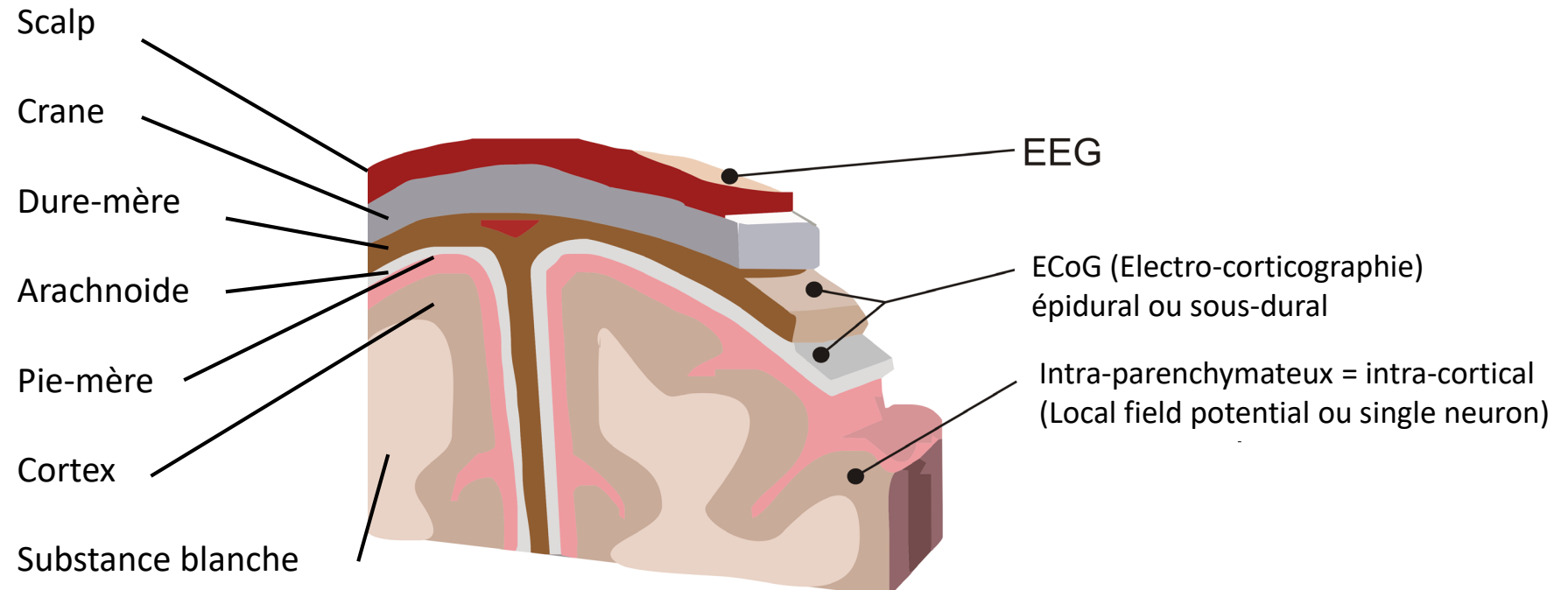
- Très hétérogènes
- Besoins d'adaptation des ICM +++
 - Difficultés // aux autres types d'appareillage
 - Sauf qu'il faut encore plus d'ingénieurs, neuroscientifiques et de rééducateurs



Est-ce que ça pourrait être mieux avec des ICM invasives ?

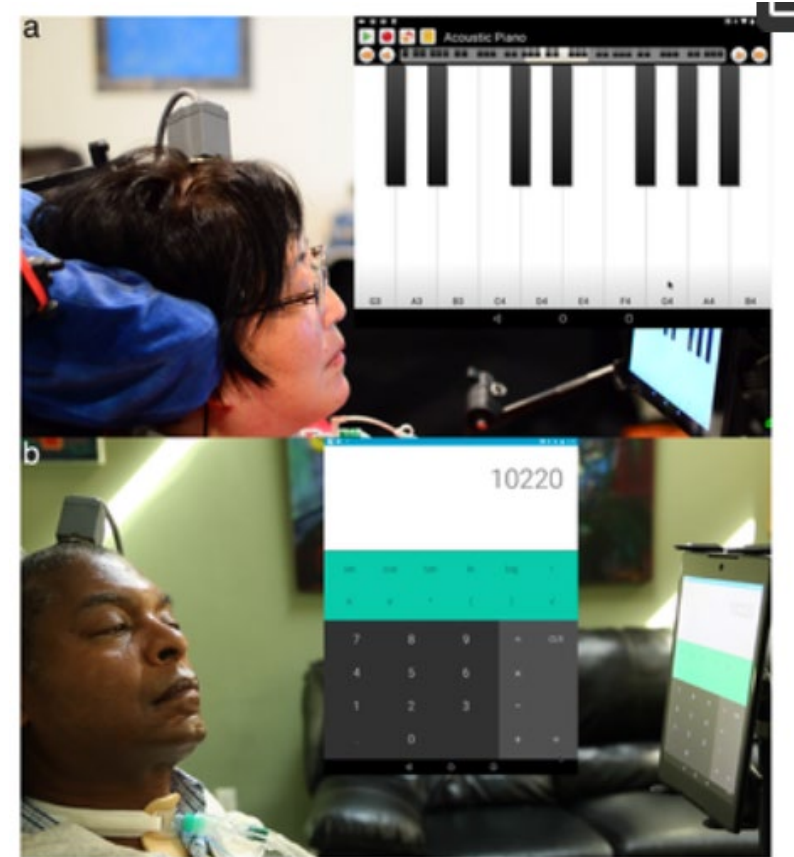
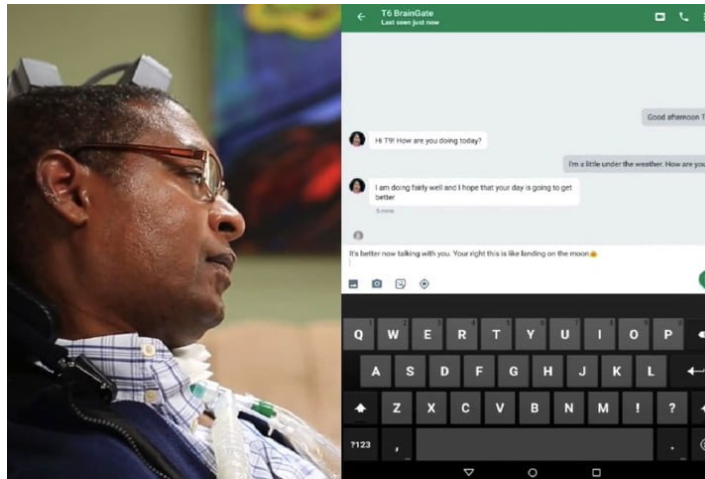
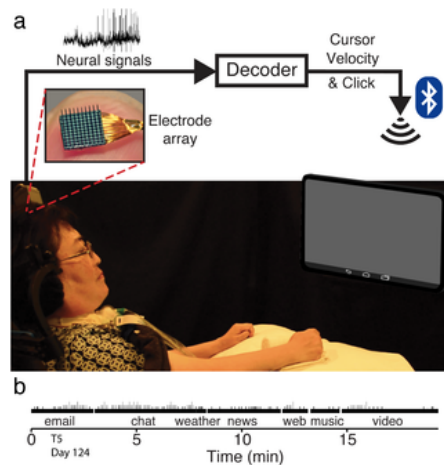
- **ICM invasives :**

- Electrodes implantées soit dans le cortex cérébral, soit sous la dure-mère, soit sur la dure mère.



Interfaces cerveau-machines invasives :

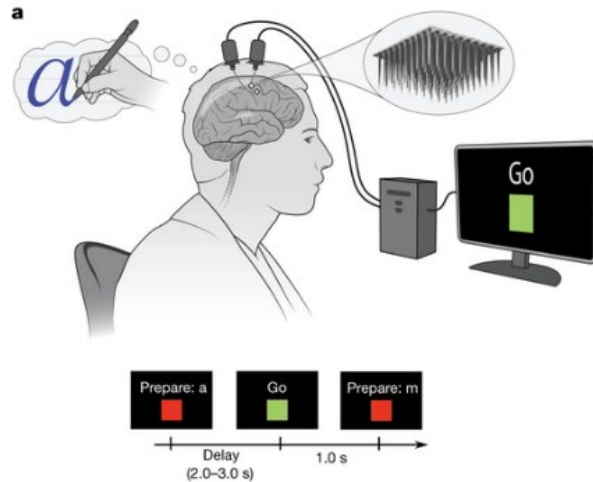
- Etude Braingate (Nuyujukian et al, 2018)
 - Tétraplégie +/- diplégie faciale +/- absence de vocalisation : 2 SLA, 1 SCI C4
 - NeuroPort recording system (Blackrock Microsystems, Salt Lake City, UT)
 - Contrôle d'une tablette
 - 12 à 23 sélections par minutes



2021: **High-performance brain-to-text communication via handwriting**

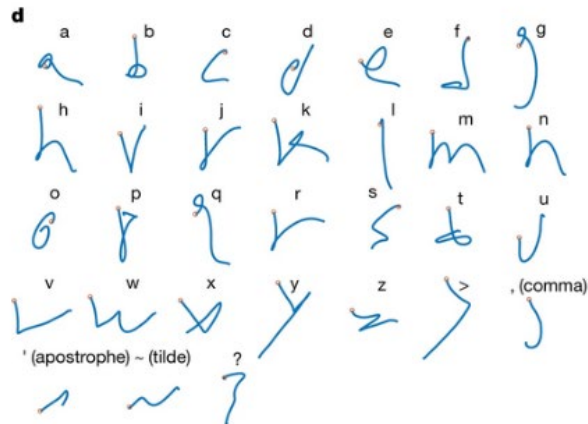
[Francis R. Willett](#) , [Donald T. Avansino](#), [Leigh R. Hochberg](#), [Jaimie M. Henderson](#) & [Krishna V. Shenoy](#)

[Nature](#) **593**, 249–254 (2021) | [Cite this article](#)



Lésion médullaire : Tétraplégie

- 2 micro-electrodes intra-corticales dans le gyrus precentral (a premotor area)
- Résultats en temps réels :
 - 90 caractères par minute ! (=50 % de vitesse frappe moyenne sur clavier)
 - Taux d'erreurs des lettres très bas : 0.89%
 - Taux d'erreur des mots : 3.4% en moyenne, ce qui est comparable aux systems de reconnaissances vocale (qui ont un taux d'erreur d'environ 4–5%)



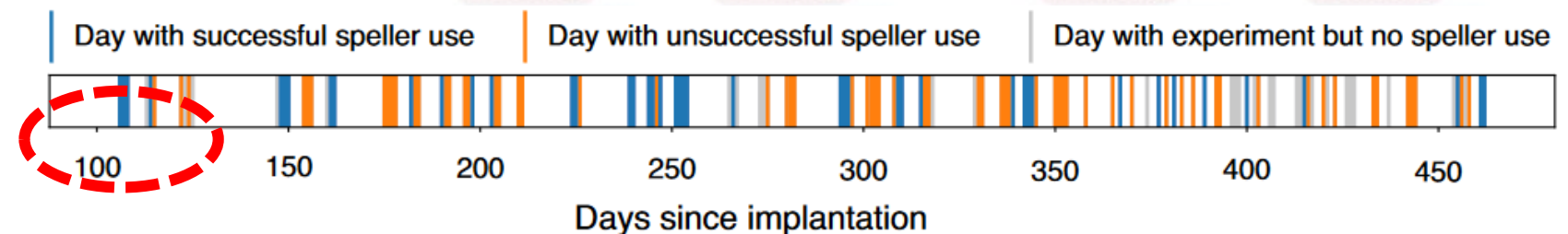
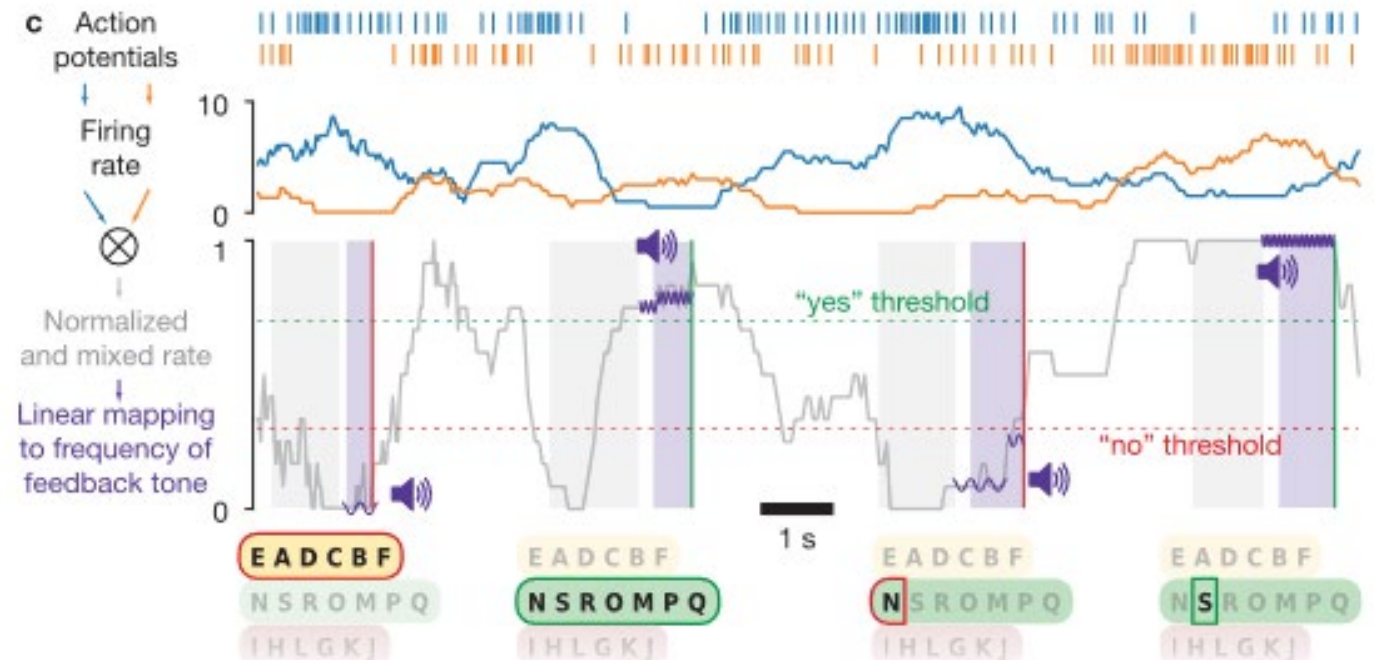
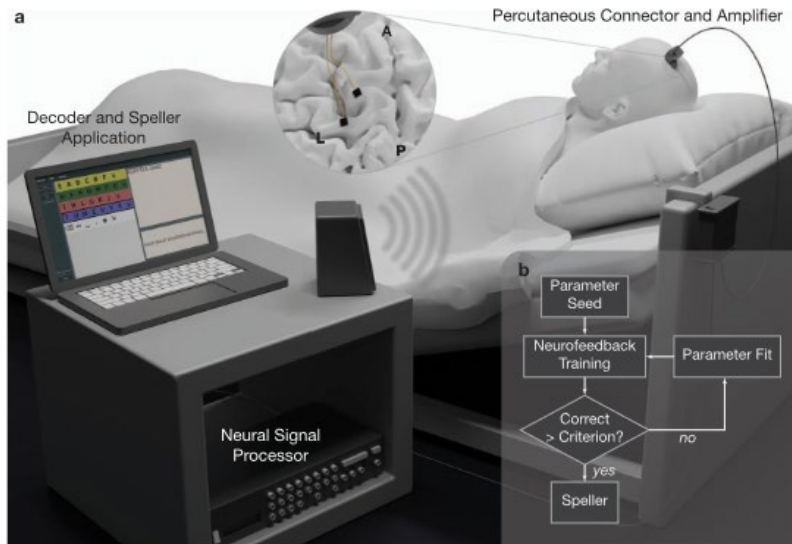
2023 (préprint, même équipe)

- Décodage de mots avec une personne avec personnes en SLA **qui ne peut plus parler**
- 160 mots par minute, s'approcherait de la vitesse de la parole !

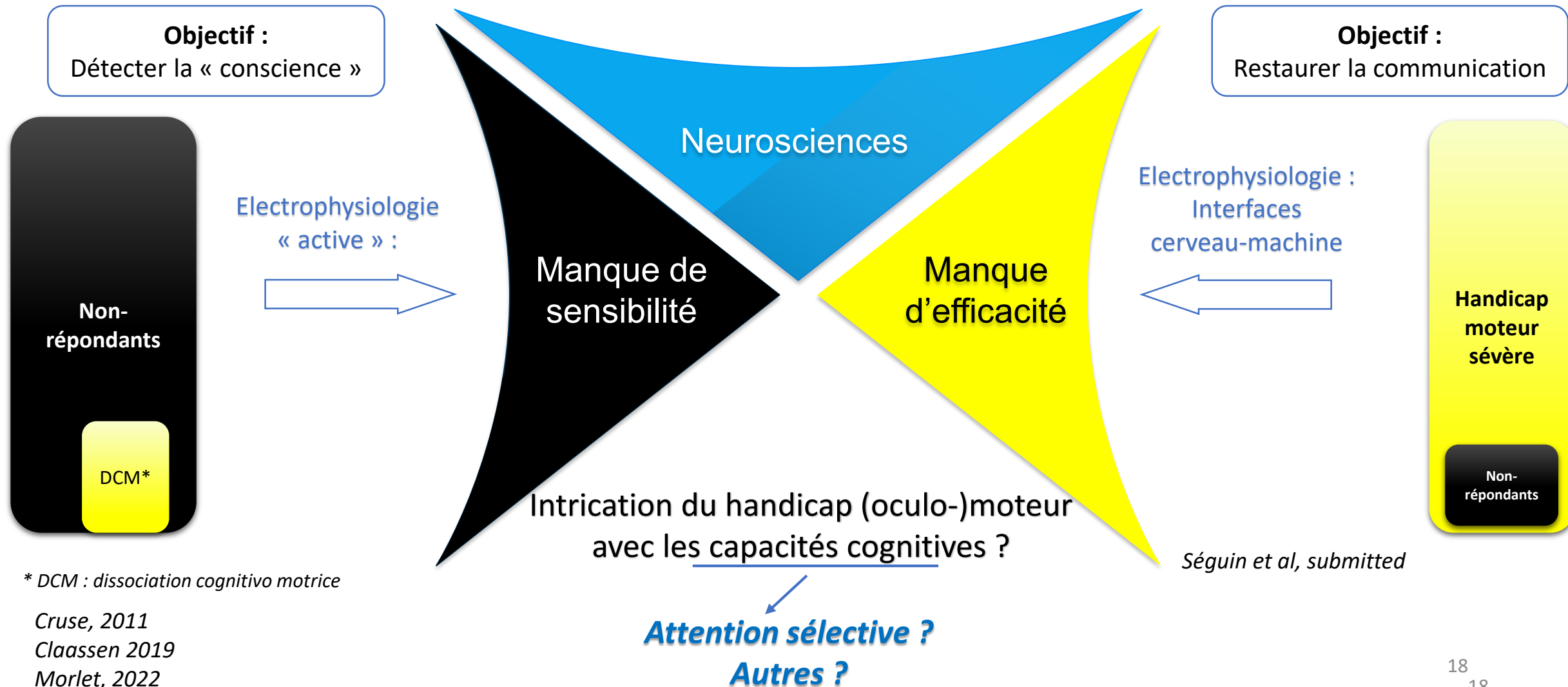
Est-ce que ça pourrait être mieux avec des ICM invasives ?

Chaudhary, 2022

- Personne avec une SLA, avec perte complète des capacités de communication, y compris oculomotrices
- Consentement obtenu auprès de la famille
- 2 électrodes implantées au niveau du cortex moteur
- Echec du paradigme d'imagination motrice pendant 3 mois
- Mise en place d'un nouveau paradigme avec apprentissage de la modulation d'un signal auditif via l'activité cérébrale (neurofeedback)



De nouvelles technologies qui (r)amènent de (nouvelles ?) questions

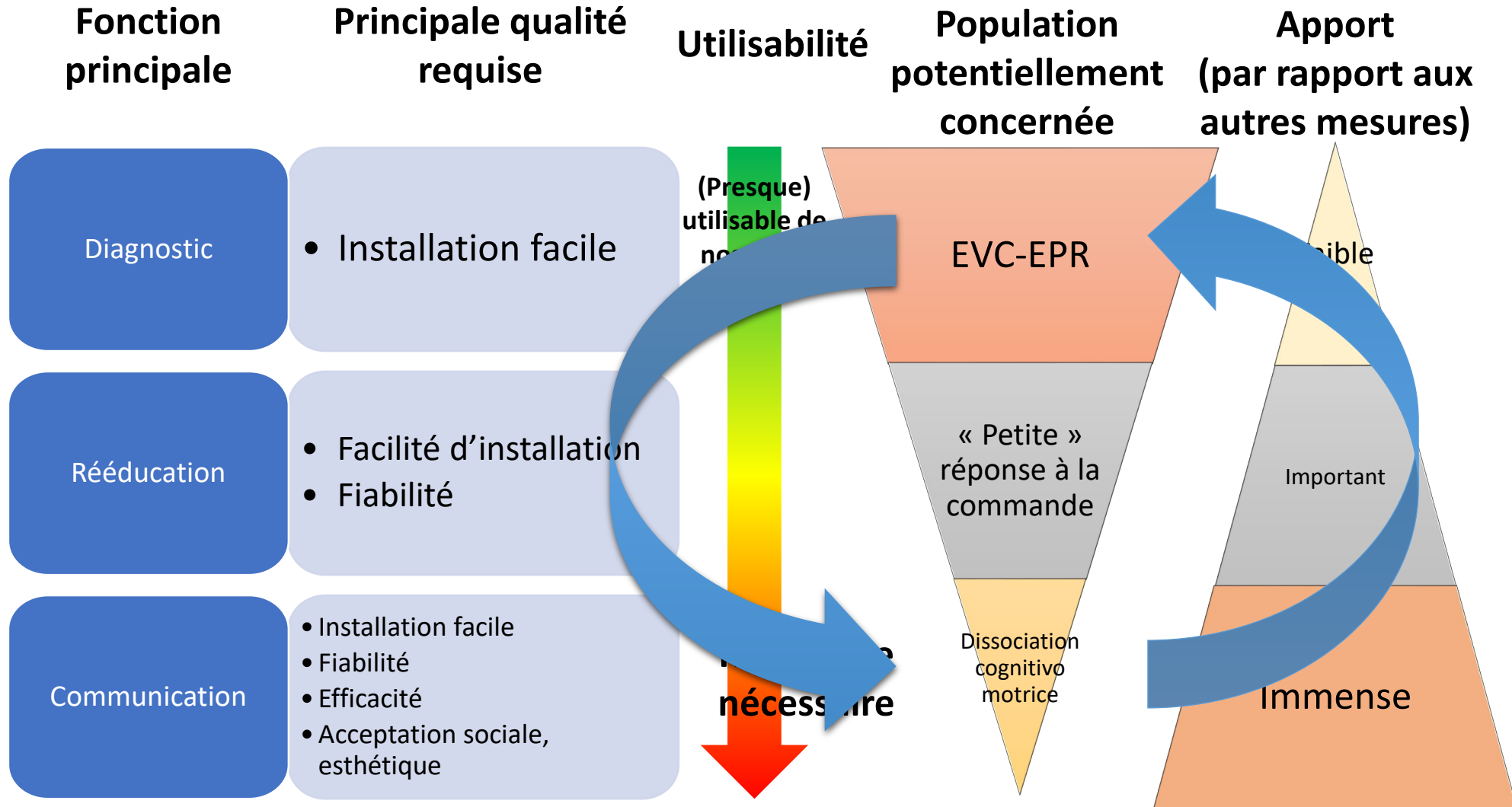


Conclusion-s :

- Les essais d'appareillages par ICM de patients EVC-EPR sont confrontés à plusieurs couches d'incertitudes :
 - Concernant le patient :
 - capacités sensorielles,
 - capacités cognitives
 - Son moral, sa motivation
 - ...
 - Concernant les Interfaces cerveau-machine :
 - Leur capacité à vraiment contourner le handicap moteur
 - La nécessité de consignes complexes, de capacités attentionnelles bien préservées
 - Leur manque de robustesse même dans une population non-clinique
 - Le confort (dépend du type d'électrode)
 - La quête de la calibration
 - Le design centré sur l'utilisateur qui génère de nouvelles difficultés
 - ...

D'où le plus souvent un certain désarroi des intervenants et peut-être parfois des patients !
Un risque d'épaissir le brouillard ...

Conclusion-s



L'omniprésence du questionnement éthique : de la conception à la médiatisation



Conception

- Prévoir le « stop » lorsque les signaux ne sont pas fiables
- Prévoir les usages malveillants
- Ou les usages sans recul sur les écueils techniques
- ...



Au lit du patient

- Consentement éclairé ? (invasif ?)
- Espoirs suscités par la recherche
- Divergence des intérêts et de la temporalité patient·e et du· de la chercheur·r·se
- ...



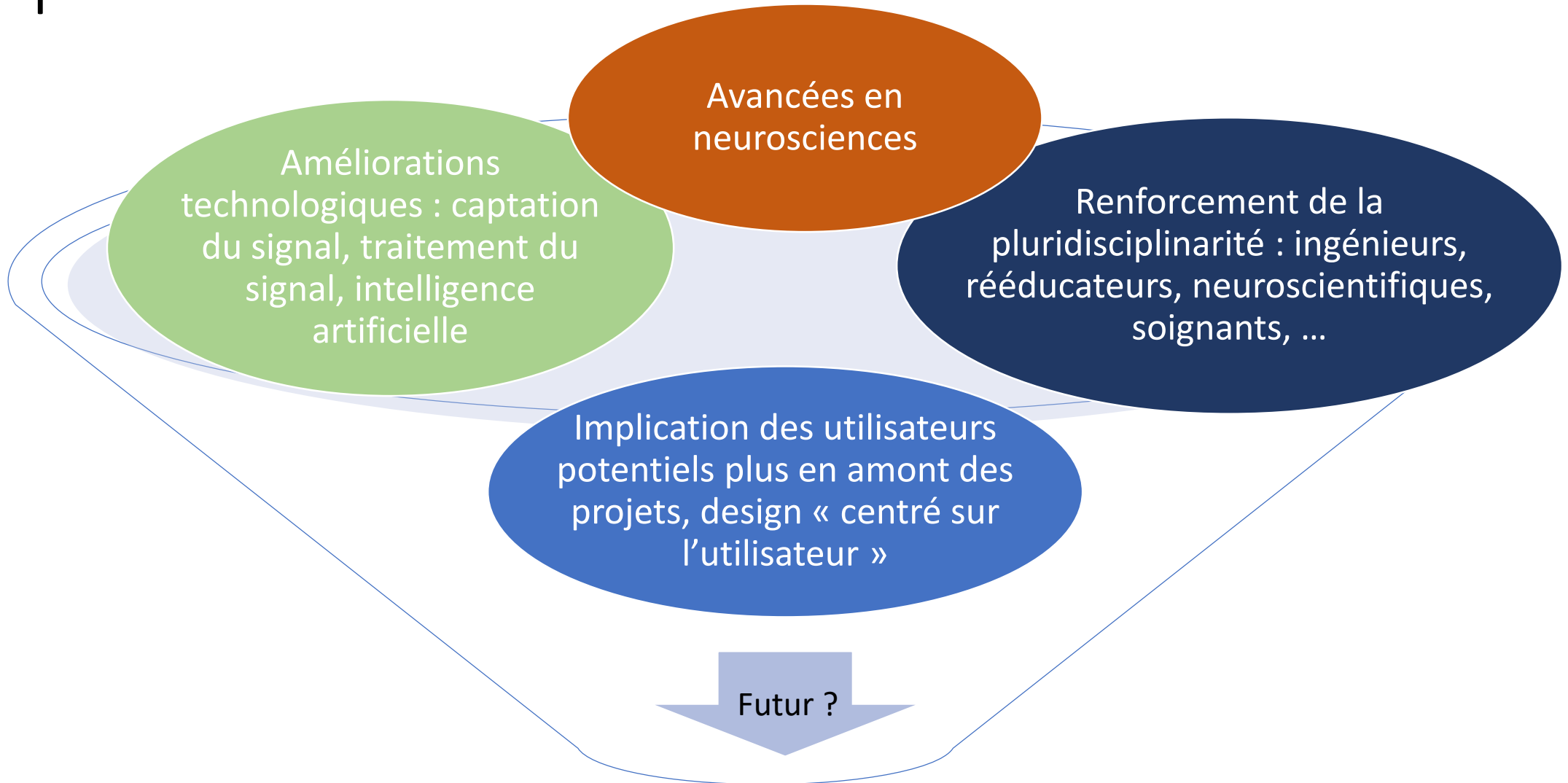
Médiatisation

- Surenchère
- Expose les personnes vulnérables au charlatanisme
- Décrédibilisation ?
- Diabolisation ?
- ...

Y a-t-il une place pour les interfaces cerveaux-machines dans l'évaluation de patients non-répondant ?

- Pas de preuve en 1^{ère} intention
 - Car les paradigmes actifs sont
 - mieux standardisés
 - bien mieux validés dans le diagnostic et le pronostic
 - plus pratiques
 - -> se pose la question d'utiliser un dispositif ICM (sans donner le feedback au patient) pour les systèmes commerciaux tout-en-un bien validés dans des populations cliniques
- Un avantage théorique pour la communication
 - Nécessité d'une expertise pluridisciplinaire +++
 - Quelques très rares cas dans le monde de personnes non répondantes ont pu être appareillés de manière longitudinale, et ce sont plutôt des personnes en SLA très avancée que des personnes en EVC-EPR « classiques », ou même des personnes Locked-in syndrome « classiques »
 - Même dans ces très rares cas, la communication reste limitée (oui/non), et fluctuante +++

Perspectives futures ?



Interface cerveau-machine utilisable en vie réelle ?



CORTICO

COLlectif pour la Recherche Transdisciplinaire sur les Interfaces Cerveau-Ordinateur

Journées CORTICO 2023

du 9 au 10 Mai 2023 à Paris à l'Institut du Cerveau

Keynotes :

- *Dr Donatella Mattia, Fondazione Santa Lucia, Italie*
- *Dr Mario Chavez, CNRS-Institut du Cerveau, France*

Remerciements

- CRNL : Equipe Cophy, projets interfaces cerveau-machine



Jérémie Mattout
Chargé de recherche
chef d'équipe



Emmanuel Maby,
Ingénieur de recherche



Sotirios Papadopoulos
Doctorant



Côme Annicchiarico
Doctorant



Alexandre Mollaret,
Ingénieur

...

- CRNL : Equipes Impact & CAP

- Alessandro Farné
- Fabien Perrin

- CHU de Saint-Etienne

- Pascal Giraux
- Lydia Oujama

- CHU de Lyon :

- Jacques Luauté
- Florent Gobert

- Tous les co-investigateurs de l'étude EVA
- Tous les patients volontaires de l'étude EVA
- Association ALIS
- Fondation Perce-Neige
- Fondation pour la Recherche Médicale

