

Interfaces Cerveau-Ordinateurs et Neuroethique: vers l'émergence d'un Neurodroit

Hakim Si-Mohammed

Maître de Conférences

Univ. Lille, CRISAL

Equipe: *Brain-Computer Interfaces*

Contact: hakim.simohammed@univ-lille.fr

Sommaire

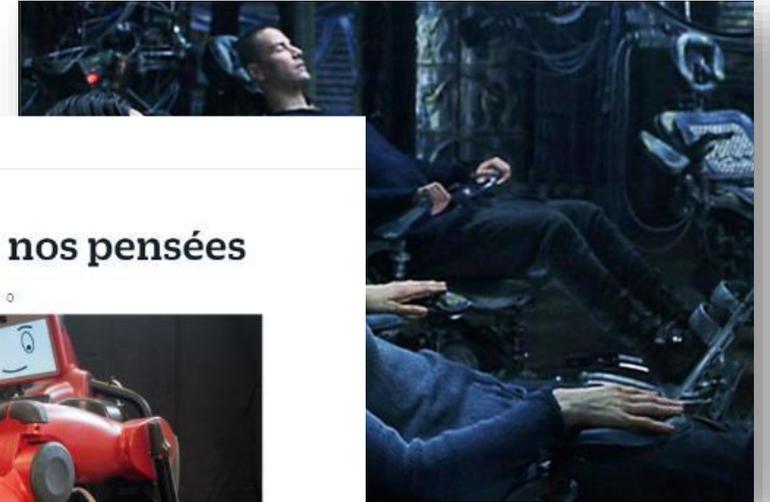
- I. Les interfaces cerveau ordinateurs
- II. Le neuro marketing: une application controversée
- III. Les initiatives des internationales, européennes et Françaises vers l'émergence d'un droit neuroéthique.

Partie I:

Interfaces Cerveau-Ordinateur

Ce que ne sont pas les ICO

❑ Les ICO ne relèvent pas de la science-fiction



❑ Les ICO de l'isent



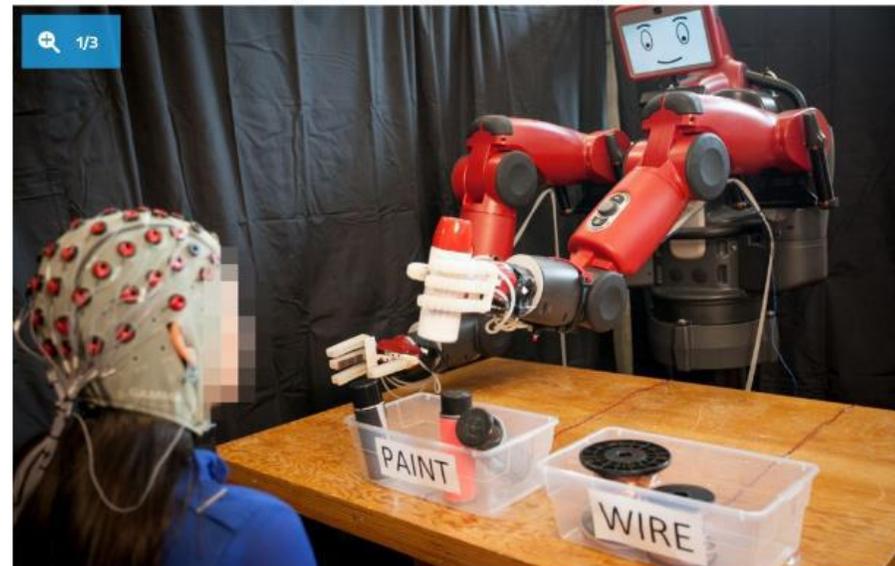
Grâce à des ingénieurs

En se basant sur le principe de communication "télépathique"



Quand les machines obéissent à nos pensées

High-Tech | Thomas Leroy | 07 novembre 2016, 14h35



Grâce à des électrodes posées sur le crâne, un superviseur peut contrôler le robot Baxter, sans effectuer le moindre geste. Jason Dorfman/MIT CSAIL

Interfaces Cerveau-Ordinateur : Définitions

Interface: n.f. Plan ou surface de discontinuité formant une frontière commune à deux domaines aux propriétés différentes et unis par des rapports d'échanges et d'interaction réciproques. [Larousse]

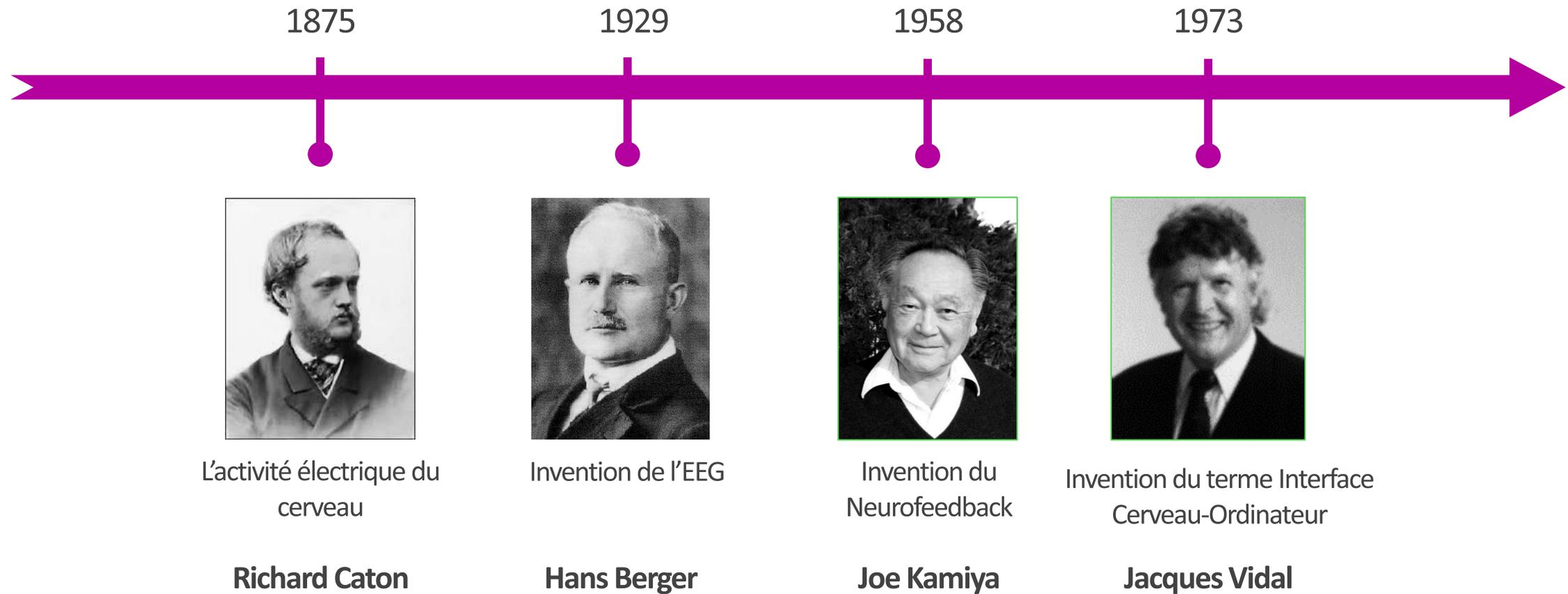
Une **Interface Cerveau-Ordinateur** est un système traduisant des mesures de l'activité du cerveau en commandes ou messages vers une application interactive

La **Neurotechnologie** fait référence aux dispositifs et procédures utilisés pour accéder, contrôler, étudier, évaluer, manipuler et/ou émuler la structure et la fonction des systèmes neuronaux chez l'animal ou l'homme

JR Wolpaw, EW Wolpaw, "*Brain-Computer Interfaces: principles and practice*", Oxford University Press, 2012

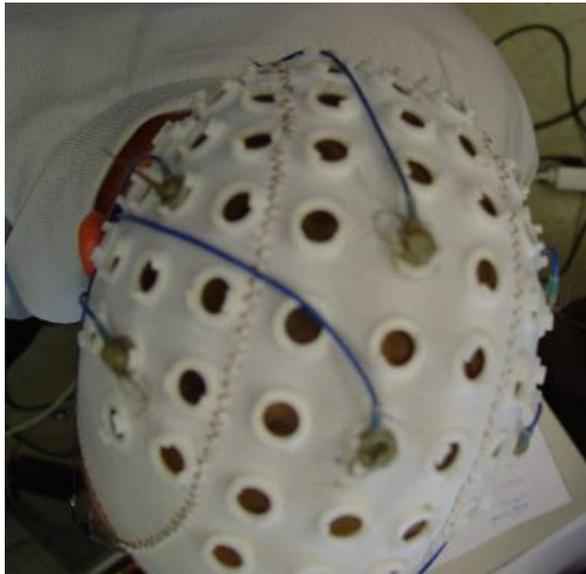
Conseil de l'Europe, Octobre 2024

Une brève histoire de l'imagerie cérébrale

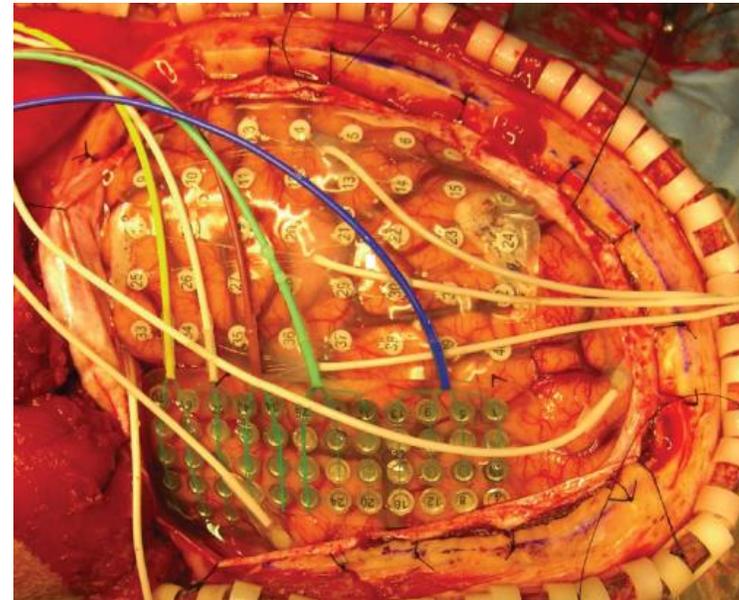


Les types de mesures de l'activité du cerveau

- ❑ Il existe de nombreuses manières de catégoriser les techniques d'imagerie cérébrale
- ❑ **L'invasivité** représente la profondeur d'acquisition des signaux cérébraux



Mesure non-invasive



Mesure invasive

Les dispositifs de mesure les plus répandus



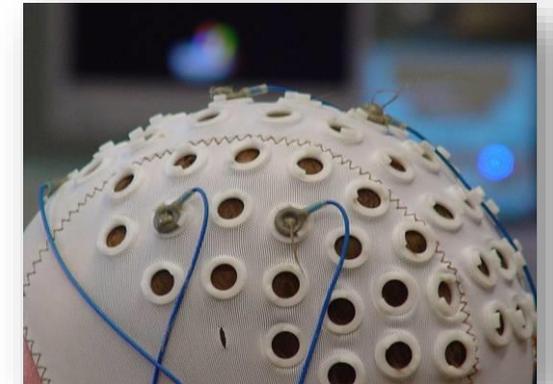
IRMf



MEG



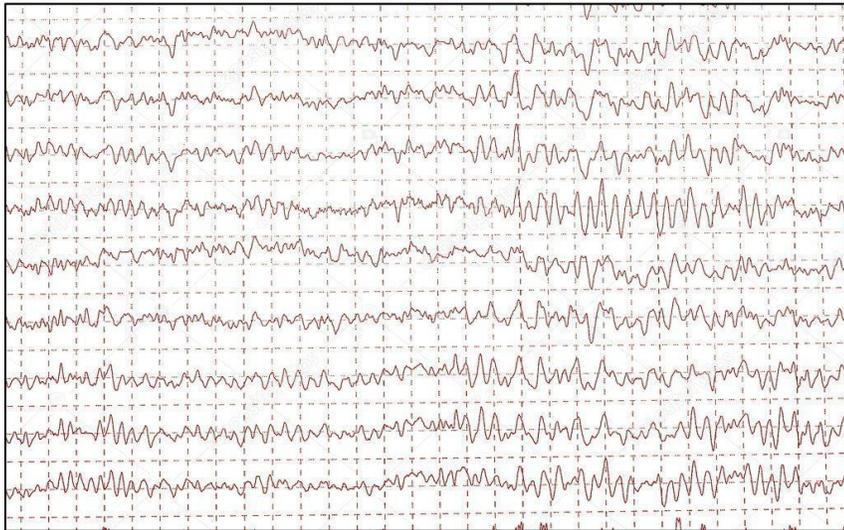
fNIRS



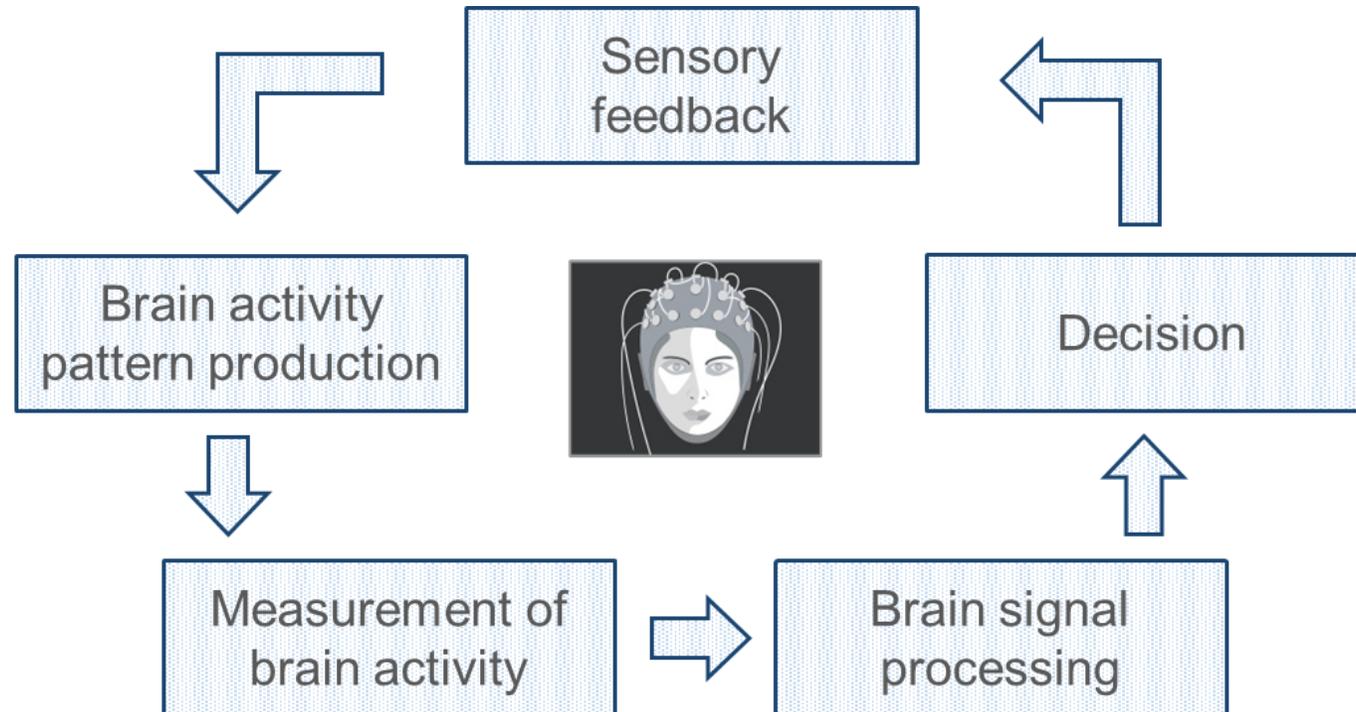
EEG

Zoom sur l'électroencéphalographie

- ❑ Il existe différents types de systèmes et d'électrodes
- ❑ L'EEG mesure l'activité électrique à la surface de la tête (cuir chevelu)
- ❑ Convient le mieux aux applications grand public



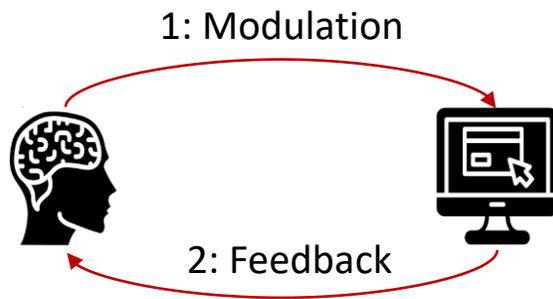
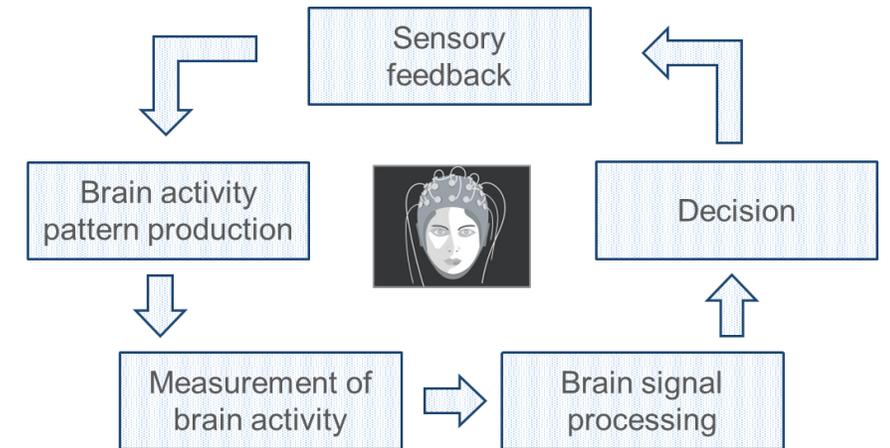
Du signal cérébral au processus informatique



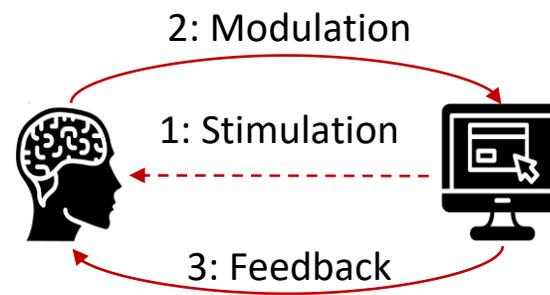
M. Clerc, L. Bougrain, F. Lotte, "*Brain-Computer Interfaces 1: Foundations and Methods*", ISTE-Wiley, 2016

La notion de paradigme ICO

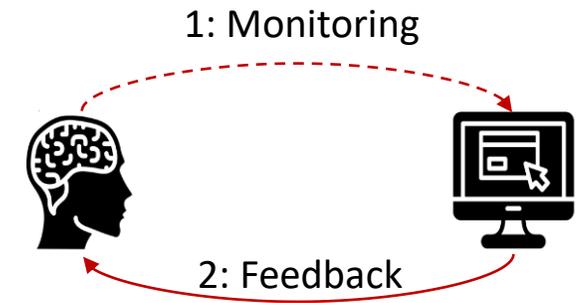
- ❑ Le type de tâche mentale réalisée par les utilisateurs définit le mécanisme d'interaction.
- ❑ Il existe 3 types de paradigmes:



Paradigmes actifs



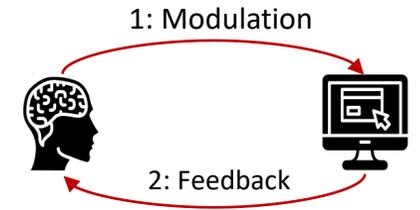
Paradigmes réactifs



Paradigmes passifs

L'imagerie motrice

- Paradigme basé sur l'imagination du mouvement des membres



Active paradigms



Crédits: EPFL



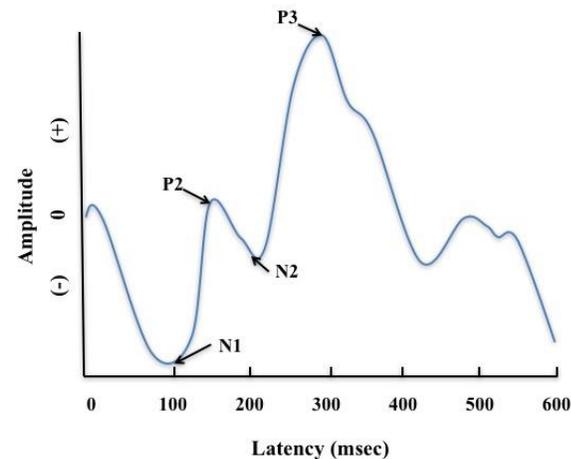
Crédits: TU Graz



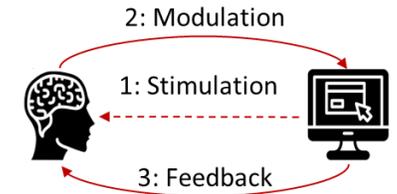
Penfield homunculus
[Penfield54]

Le signal P300: le « Aha! » Signal

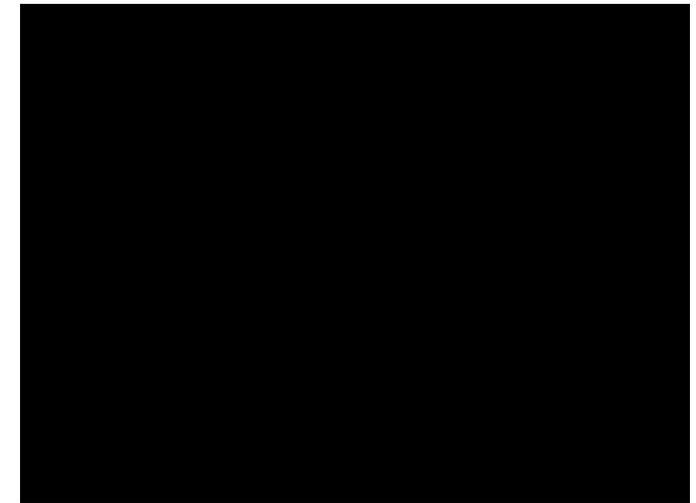
- ❑ Associé à la survenue d'un événement rare et/ou pertinent
- ❑ Apparaît approx. 300ms après le stimulus déclencheur



[Stephanie et al. 2017]



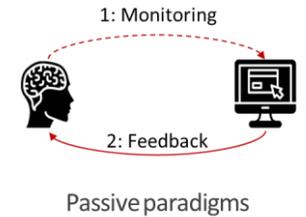
Reactive paradigms



Farwell & Donchin, "Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1988

Les ICO Passives

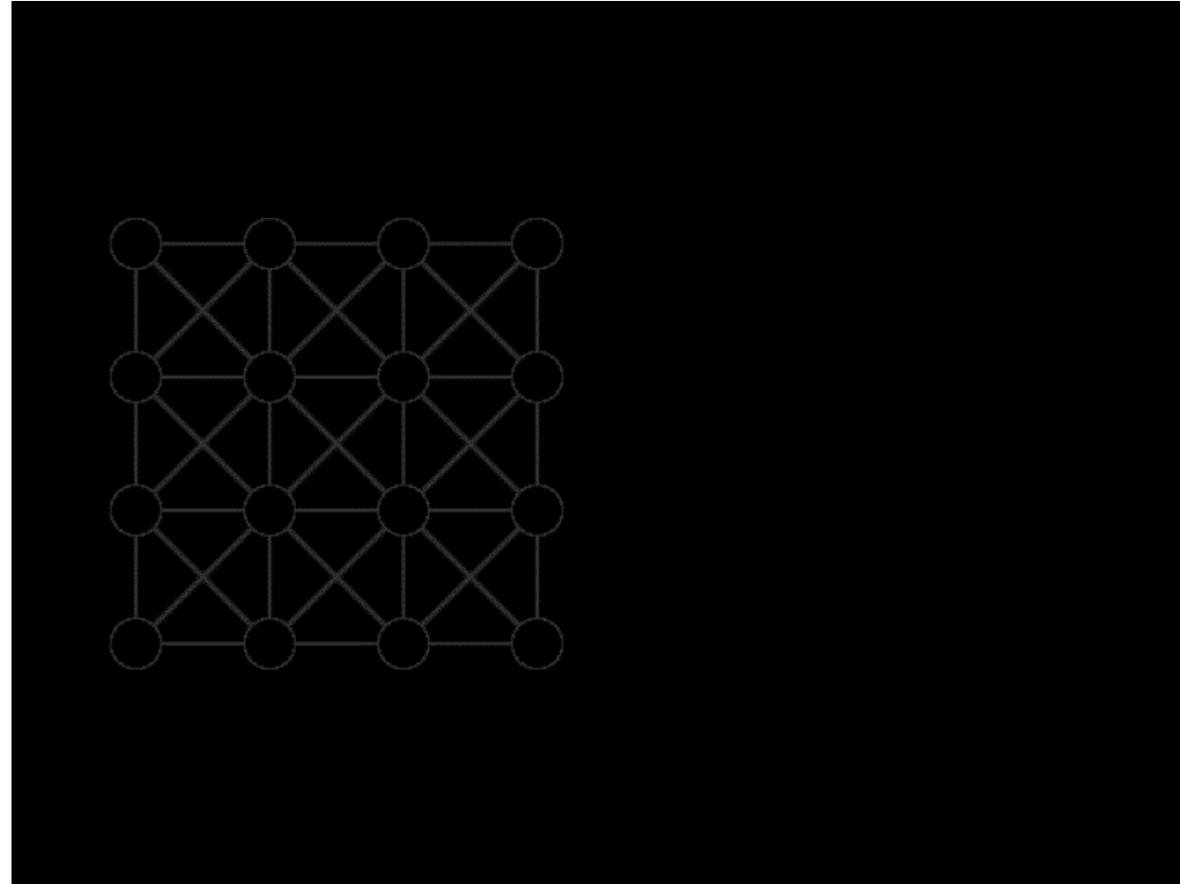
- ❑ Formellement introduites en 2011 : Zander and Kothe
- ❑ L'objectif n'est plus (la plupart du temps) d'envoyer une commande
- ❑ Particulièrement adaptées au monitoring de l'état mental de l'utilisateur
- ❑ Exemples:
 - Mental Workload
 - Error Related Potentials



Une **ICO passive** est un système qui estime un ou plusieurs états mentaux de l'utilisateur – sans aucune action volontaire de sa part – afin d'adapter l'interaction homme-machine en conséquence

Zander, T. & Kothe, C., "Towards passive brain-computer interfaces: applying brain-computer interface technology to human-machine systems in general", Journal of Neural Engineering, 2011

Error Related Potentials ... Pour le contrôle implicite



Zander, T. O., Krol, L. R., Birbaumer, N. P., & Gramann, K. Neuroadaptive technology enables implicit cursor control based on medial prefrontal cortex activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2016

Partie II:

Le neuromarketing

Des questions à l'impact colossal

- Qu'est ce qui motive une décision d'achat ? Peut-on le comprendre via la mesure de l'activité du cerveau ?
- Pourrait-on alors l'influencer ?
- Pourrait-on créer des campagnes de publicités auxquelles il serait impossible de résister ?

Une application controversée des neurotechnologies

- ❑ Le terme **neuromarketing** a été utilisée la première fois en 2002 par l'entreprise *BrightHouse* à Atlanta [Fischer et al. 2010]
- ❑ L'entreprise proposait d'utiliser l'imagerie IRM dans des études marketing.
- ❑ Ne 1998, Zaltmann et Kosslyn publiaient un brevet sur l'utilisation de l'IRM comme outil d'études marketing.
- ❑ L'un des d'eux a rejoint Neurofocus... qui se concentre à présent sur le neurofeedback
- ❑ Il existe aujourd'hui plusieurs définitions du neuromarketing

Le **neuromarketing** consiste en l'application des neurotechnologies dans le domaine de la recherche en marketing

Lee et al., "What is 'neuromarketing'? A discussion and agenda for future research", International Journal of Psychophysiology, 2006

Neuromarketing: Mythe ou Réalité ?

- ❑ Difficile à évaluer => La plupart des résultats ne sont pas supportés par des données empiriques [Siddique et al. 2022]
- ❑ Aujourd'hui, la plupart des travaux se concentrent sur une classification binaire « j'aime » ou « je n'aime pas » en utilisant l'EEG.
- ❑ Certains travaux abordent la question sous l'angle des émotions
- ❑ Il n'est pas exclu que la couverture médiatique soit supérieure à l'impact réel [Fischer et al. 2010]

Quelques travaux néanmoins...

- ❑ En 2004, Neurosense au Royaume-Uni accompagnait de grandes entreprises dans la réalisation de leurs campagnes de publicité.
- ❑ La plupart des travaux visait à choisir des images (parfois des odeurs) activant les mêmes zones du cerveau que le circuit de la récompense et du plaisir.

- ❑ Neurosense **Use Cases**

« *It gets*

re often



Diversity & Inclusion

How do you create an inclusive workplace where everybody brings their true self to work?



Employee Retention

What makes people stay or go, and how do you predict it before it is too late?



Culture

How do leaders know when they're emotionally resonating with their team?



Risk & ESG

How can you measure the risk and the true social impact of your business?

Des réticences depuis le début ?

- ❑ Très tôt, la communauté neuroscience a exprimé ses réticences.
- ❑ Caricaturalement, le neuromarketing était présenté comme la recherche du « bouton acheter » dans le cerveau. [\[Article editorial Nature Neuroscience\]](#) [\[Lee et al., 2006\]](#)
- ❑ En 2004, Donald Kennedy, éditeur de la revue Science, craignait que « l'imagerie cérébrale ne soit utilisée de manière à violer la confidentialité des utilisateurs à un niveau inacceptable »
- ❑ Nécessité de réguler les neurotechnologies ?

Partie III:

Vers l'émergence d'un droit Neuroéthique

Quelques chiffres de l'UNESCO

- ❑ 1 personne sur 8 dans le monde vit avec un trouble mental ou neurologique
- ❑ Augmentation de 700% des investissements dans les entreprises de neurotech entre 2014 et 2021
- ❑ Sur 1400 entreprises 50% sont basées aux Etats-Unis et 35% en Europe et Royaume-Uni.
- ❑ L'OCDE est la première à réagir.

1. Promouvoir une innovation responsable
2. Donner la priorité à l'évaluation de la sécurité
3. Promouvoir l'inclusivité
4. Encourager la collaboration scientifique
5. Favoriser les débats sociétaux
6. Développer les capacités des organismes de surveillance et des organes consultatifs
7. Protéger les données cérébrales personnelles et autres informations
8. Promouvoir une culture de la gestion responsable et de la confiance dans les secteurs publics et privés
9. Anticiper et surveiller les éventuels usages non intentionnels et/ou abusifs



- ❑ En 2022 le Comité International bioéthique publie un rapport appelant à créer un nouvel ensemble de droits de l'homme appelés **neurodroits** tels que :
 - L'intimité mentale
 - Le libre arbitre
- ❑ Ce rapport invite chaque état à garantir les droits neurologiques de ses citoyens en adoptant des lois protectrices des droits :
 - A la vie privée
 - A la protection de l'activité cérébrale
 - A la liberté de penser à l'égard des neurotechnologies
- ❑ L'UNESCO a également annoncé conduire des discussions pour développer une fdr pour un cadre mondial de la gouvernance des neurotechnologies.
- ❑ Le Chili a anticipé en inscrivant les neurodroits dans sa constitution



- ❑ Intitulée : « Neurotechnologies : défis scientifiques et éthiques. »
- ❑ L'office revient sur 3 points principaux :
 1. La constatation de l'avancée dans le domaine des neurotechnologies
 2. La nécessité de maintenir la recherche française au niveau où elle est dans ce domaine
 3. Les enjeux éthiques qui plaident pour une régulation de ces technologies.
- ❑ Il constate :
 - L'intérêt croissant des entreprises et les investissements majeurs malgré un cadre juridique restrictif
 - Que les produits commercialisés au grand public sont souvent d'efficacité incertaine: contrôle par la pensée, aide à la concentration et plus généralement au bien-être.



□ Il préconise de :

- Poursuivre le travail de transposition au niveau national des recommandations de l'OCDE
- Définir un cadre législatif protecteur, proche du cadre adopté au Chili en mettant l'accent sur :
 - La sécurité des dispositifs
 - Le respect du droit à l'intégrité de son corps et du droit à la vie privée
 - La protection des données personnelles, y compris celles issues de l'enregistrement de l'activité cérébrale en écartant la notion trop floue de libre arbitre
 - Veiller à ce que le cadre défini ne conduise pas à décourager la recherche et réduire notre compétitivité
 - Une vigilance particulière sur la notion de transhumanisme.

Cadre juridique actuel

Le code de santé publique enrichi de l'article L. 1151-4 par la loi du 2 août 2021 relative à la bioéthique, qui permet **l'interdiction par décret** des « **actes, procédés, techniques, méthodes et équipements ayant pour effet de modifier l'activité cérébrale et présentant un danger grave ou une suspicion de danger grave pour la santé humaine** »

Le code civil dispose dans son article 16-14, révisé par la loi du 2 août 2021 relative à la bioéthique que « **les techniques d'imagerie cérébrale ne peuvent être employées qu'à des fins médicales, de recherche scientifique ou dans le cadre d'expertises judiciaires, à l'exclusion, dans ce cadre, de l'imagerie cérébrale fonctionnelle** »

Charte française pour le développement responsable des neurotechnologies

- ❑ Son objectif est de favoriser le développement responsable des neurotechnologies en renforçant la confiance dans tous les acteurs.
- ❑ Elle vise la protection des données cérébrales personnelles, la reconnaissance des droits des patients et des utilisateurs, et le développement d'une communication éthique et déontologique.
- ❑ De nombreux signataires
- ❑ Elle permet à la France de mettre en place les recommandations de l'OCDE



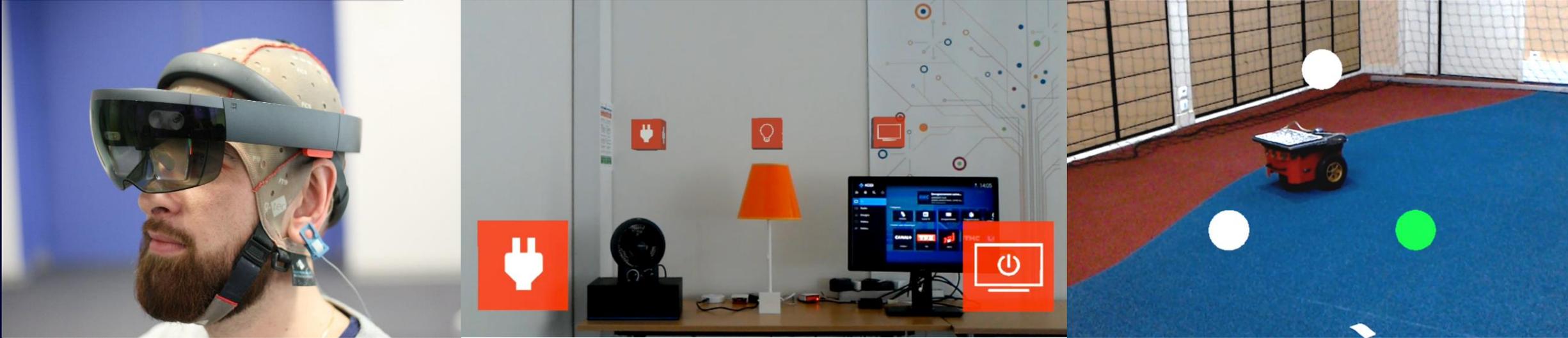
- ❑ La charte stipule que « les capacités des neurotechnologies à sonder et à interférer avec l'activité cérébrale d'un individu questionnent les notions d'identité, d'intégrité physique et mentale et d'autonomie de l'être humain »
- ❑ La charte vise à protéger les patients et consommateurs contre les utilisations potentiellement abusives et malveillantes conduisant à une perte de **liberté cognitive** ou au non respect de la **confidentialité des données cérébrales** personnelles.
- ❑ Elle reconnaît ainsi aux patients et utilisateurs le droit à préserver :
 - Leur identité humaine
 - Leur liberté de penser
 - Leur autonomie
 - Leur liberté cognitive
 - Leur vie privée mentale
 - Leur droit à s'opposer à une utilisation non consentie ou abusive de leurs données et de refuser toute manipulation non consentie ou abusive de leur cerveau

□ Elle est répartie en 5 engagements :

1. Protéger les données cérébrales personnelles
2. Assurer la fiabilité, la sûreté et la sécurité des dispositifs médicaux et non médicaux
3. Développer une communication éthique et déontologique
4. Prévenir les usages abusifs, les applications et les manipulations malveillantes
5. Prendre en compte les attentes sociétales

Conclusion

- ❑ Les Interfaces Cerveau-Ordinateur et plus généralement les neurotechnologies permettent l'interaction avec des systèmes informatiques par le biais de l'activité du cerveau.
- ❑ Les récents progrès suscitent aussi de nombreux espoirs pour les patients, ainsi que de nombreuses craintes.
- ❑ Plusieurs organismes prônent la création d'un droit neuroéthique à même de protéger l'intégrité mentale et la confidentialité des données cérébrales personnelles.



Merci pour votre attention !

Hakim Si-Mohammed
Maître de Conférences
Univ. Lille, CRISAL
Equipe: *Brain-Computer Interfaces*

Contact: hakim.simohammed@univ-lille.fr