

Les interfaces cerveau-machine

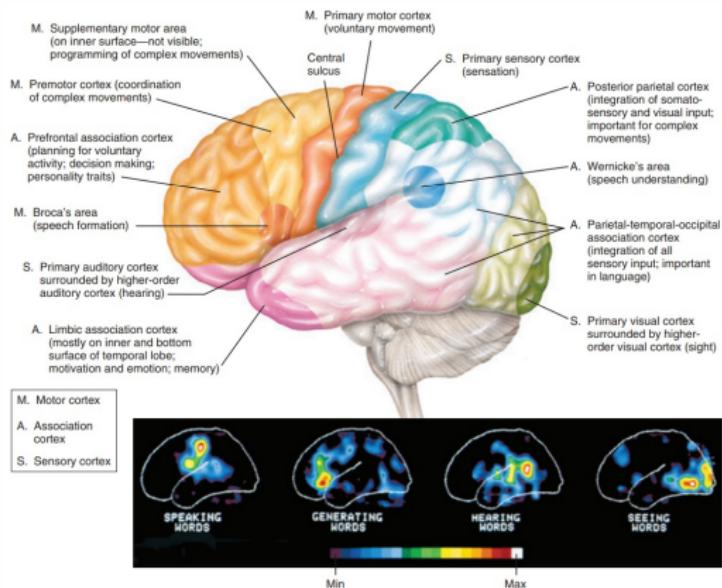
Cédric Simar, Machine Learning Group.



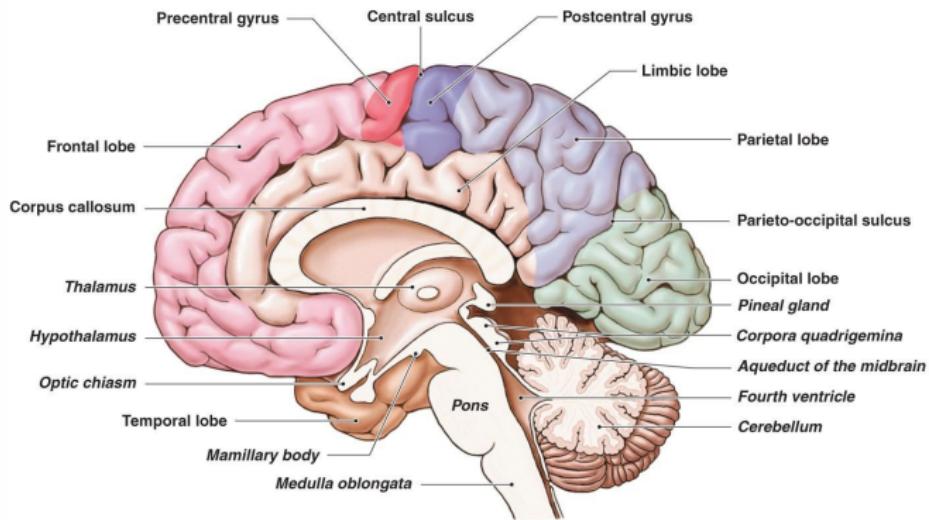
Université Libre de Bruxelles

Brève introduction sur le cerveau

La structure corticale



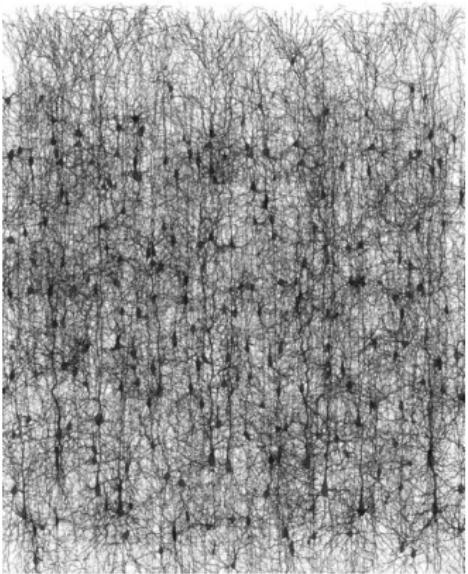
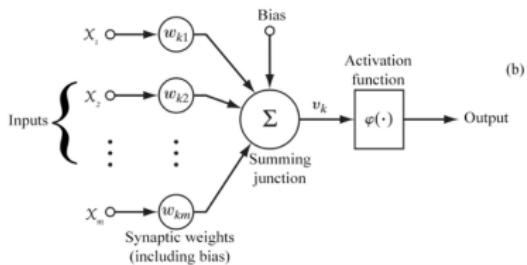
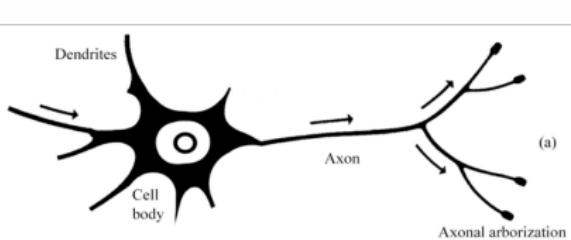
La structure sous-corticale



© 2011 Pearson Education, Inc.

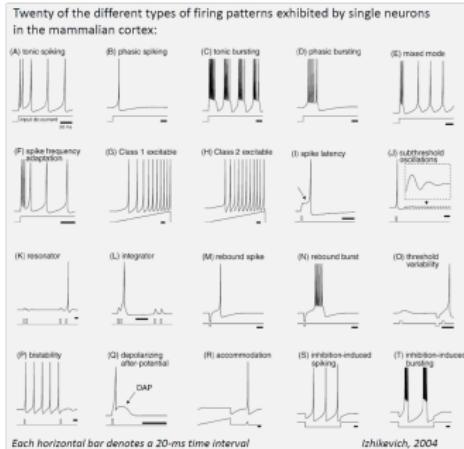
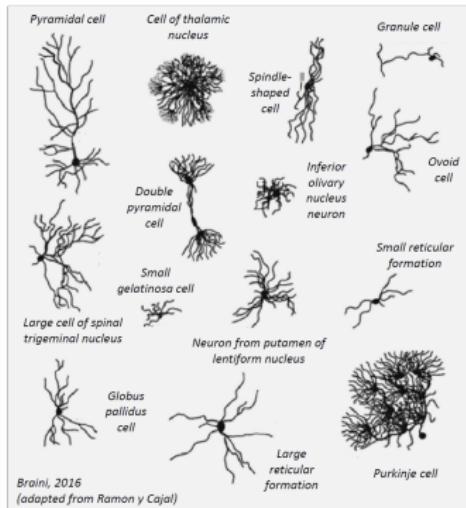
Le neurone

On estime à 86 milliards le nombre total de neurones (dont 500 millions dans l'intestin et 40.000 dans le coeur)



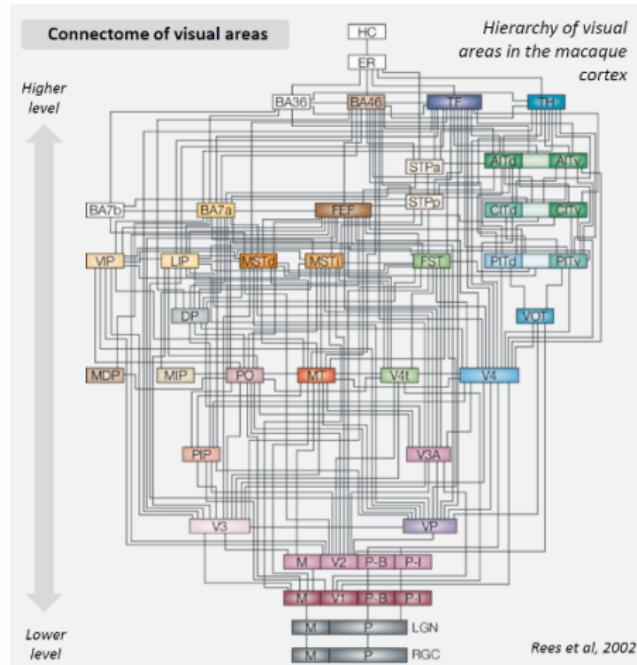
Les interfaces cerveau-machine

Si seulement c'était aussi simple..

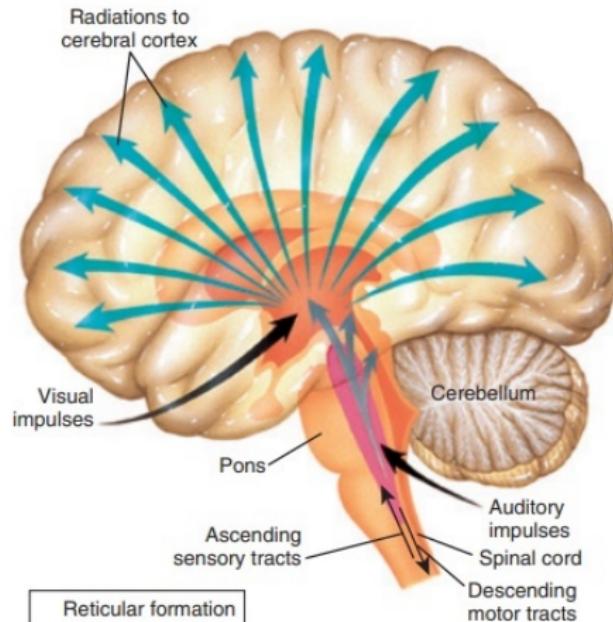


Il existe un grand nombre de familles de neurones présentant des dynamiques excitatrices ou inhibitrices complexes et des types de décharge différents

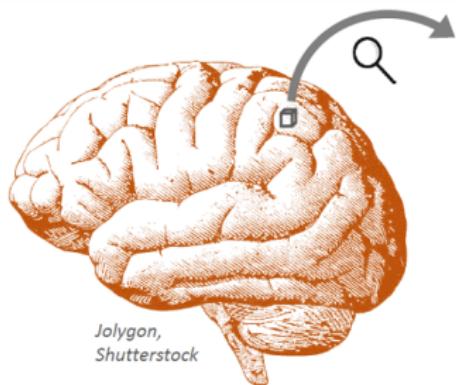
Peut-être que le connectome sera plus s..



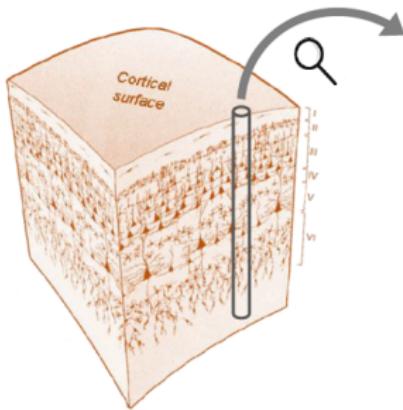
Revenons au niveau du cortex



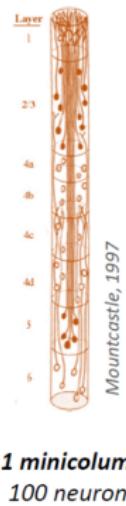
Les macro et micro colonnes



1 cortical sheet
2 million macrocolumns
200 million minicolumns
20 billion neurons



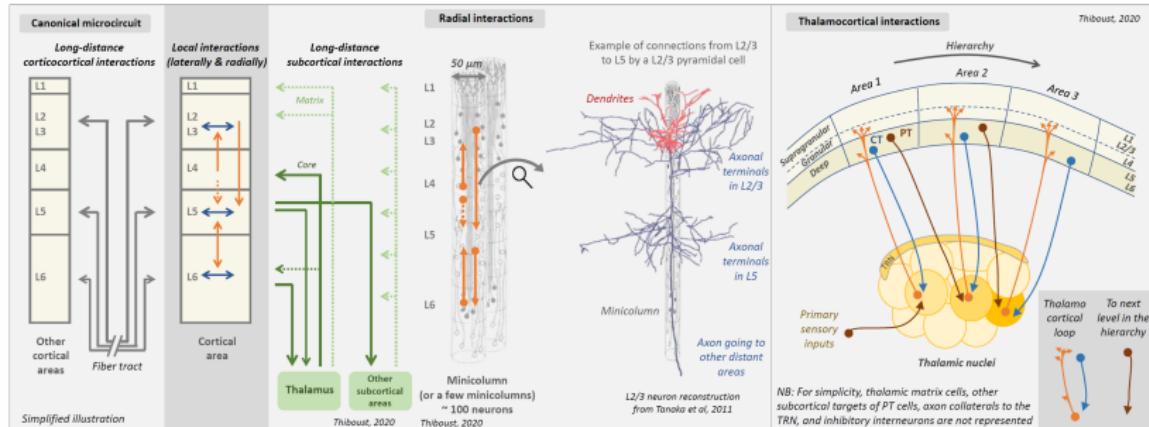
1 macrocolumn
100 minicolumns
10.000 neurons



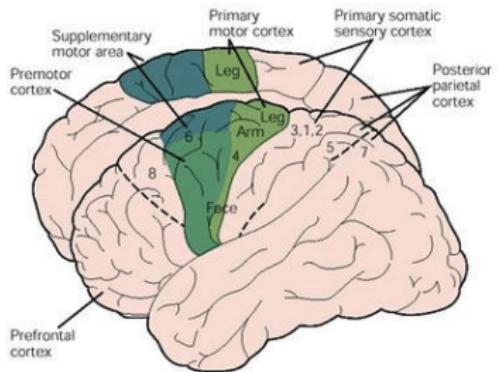
1 minicolumn
100 neurons

Les interfaces cerveau-machine

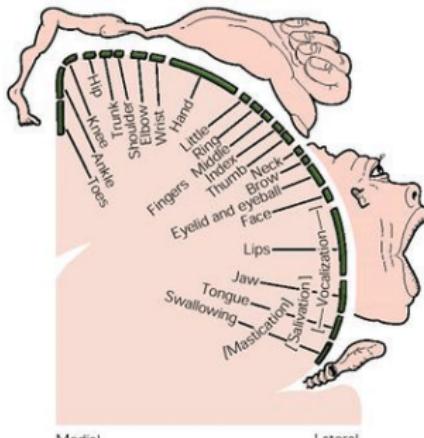
Le flux d'information dans le cortex



Exemple du cortex moteur primaire

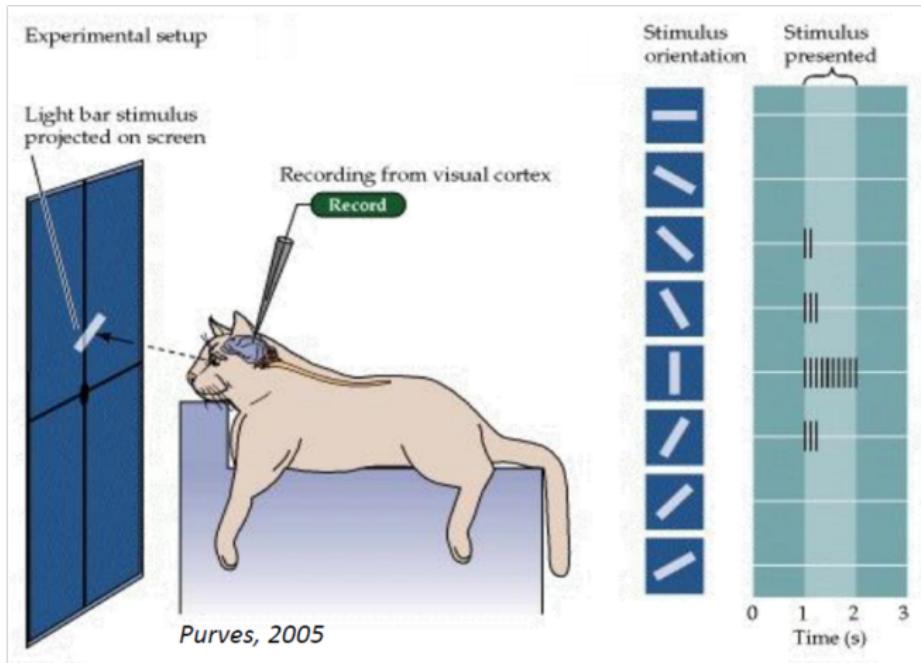


a)



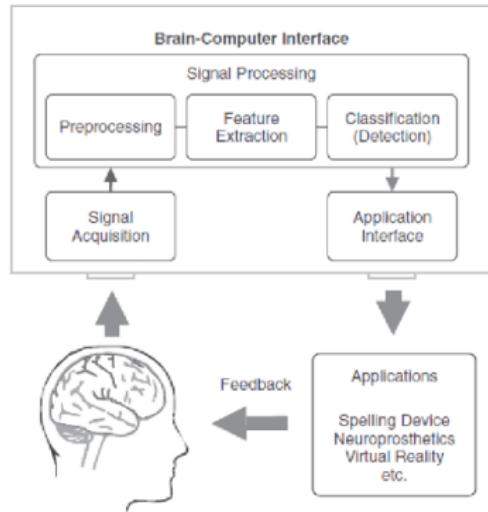
b)

Exemple du cortex visuel (V1)



Les interfaces cerveau-machine

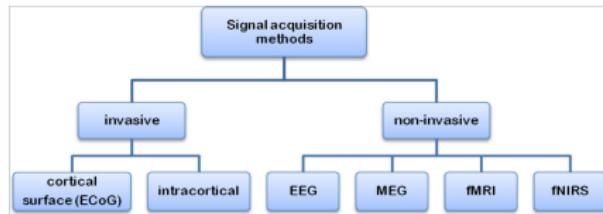
Principe d'une interface cerveau-machine



Applications typiques :

- contrôle du mouvement ou de l'environnement
- restauration de capacités perdues (prothèses, neuroréhabilitation...)
- outils de diagnostic électrophysiologiques (par exemple, pour les maladies neurodégénératives telles qu'Alzheimer)

Acquisition des signaux cérébraux



Summary of acquisition method characteristics.

	Cortical surface	Intracortical	EEG	MEG	fMRI	fNIRS
Invasiveness and medical issues	Invasive	Invasive	Non-invasive	Non-invasive	Non-invasive	Non-invasive
Spatial resolution	High	Very high	Low	Mediate	High	Mediate
Temporal resolution	High	High	Mediate	Mediate	Low	Low
Portability	Portable	Portable	Portable	Non-portable	Non-portable	Portable
Recorded signal	Electrical	Electrical	Electrical	Magnetic	Metabolic	Metabolic

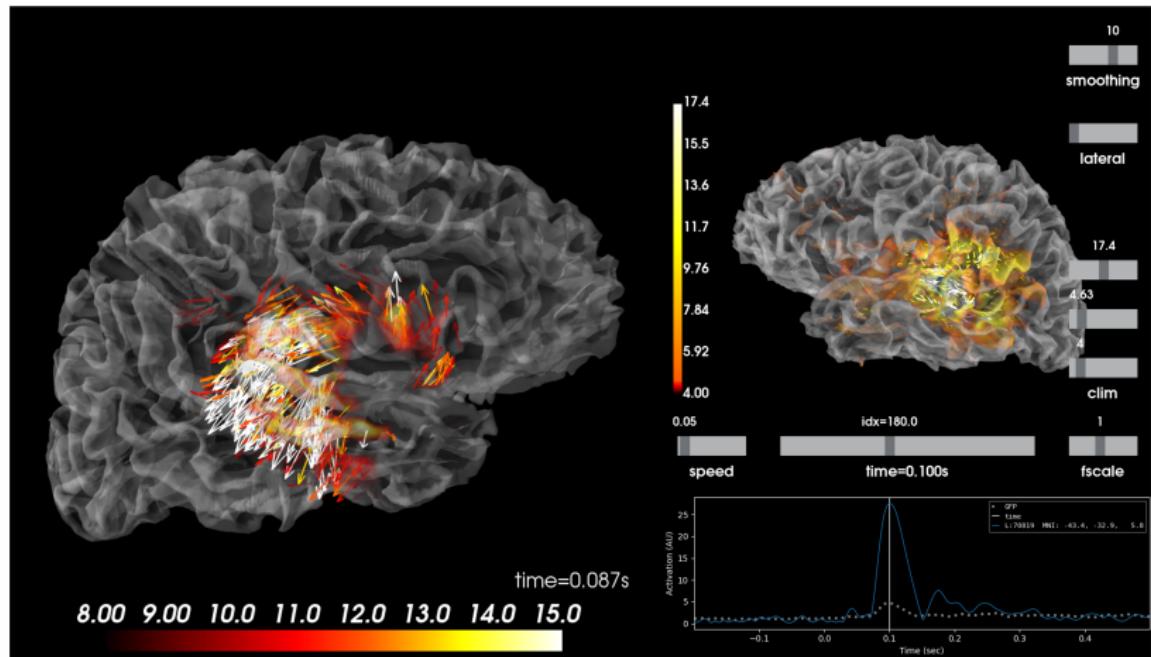
Les interfaces cerveau-machine

Acquisition des signaux cérébraux



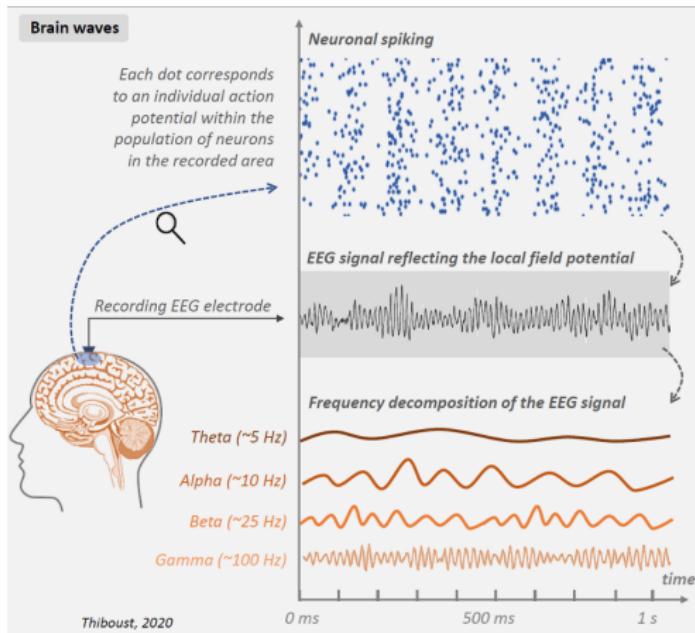
Figure: *EEG, MEG et fMRI*

Les modèles inverses



Les interfaces cerveau-machine

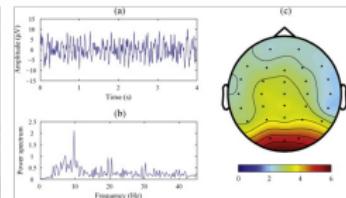
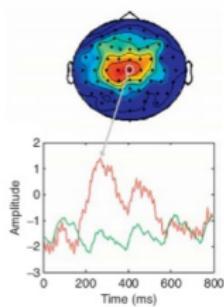
Les ICM basés sur l'activité électrique du cerveau (EEG)



- l'activité synchrone d'un large nombre de neurones crée des oscillations macroscopiques
- l'activité neuronale est composée d'oscillations à des fréquences précises

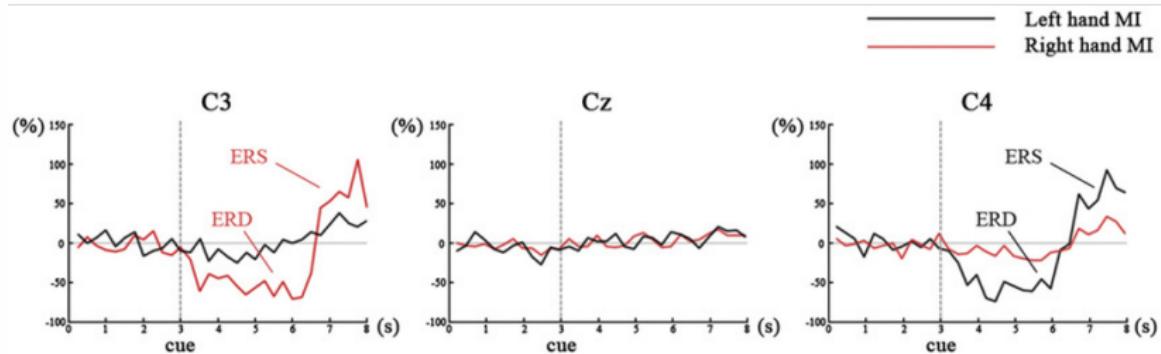
Les types d'ICM en EEG

Les ICM basées sur les potentiels évoqués (P300, SSVEP...)



Les types d'ICM en EEG

Les ICM basées sur des synchronisations ou désynchronisations de rythmes cérébraux à des localisations précises (imagerie motrice...)



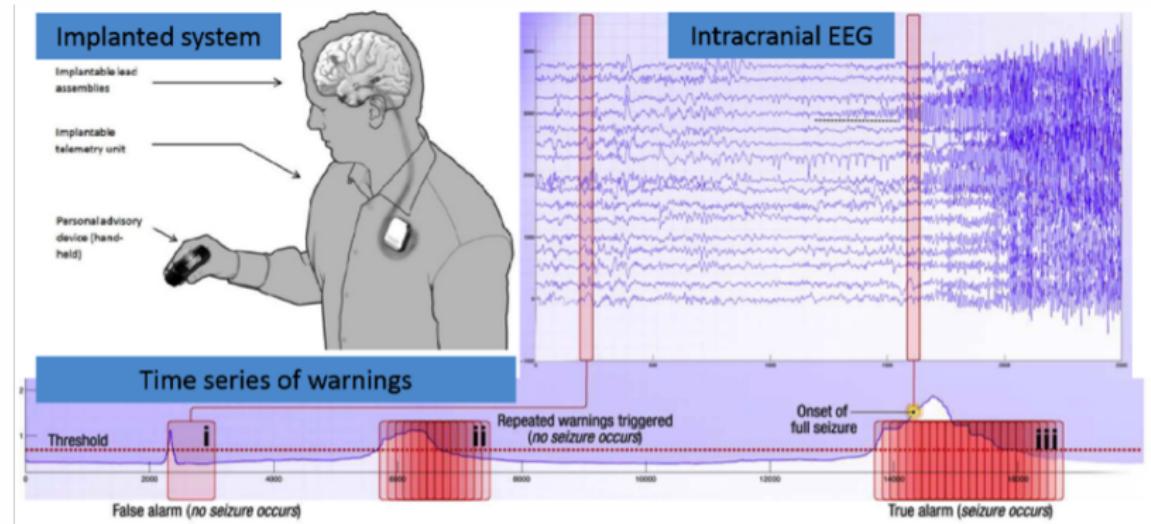
Application de l'intelligence artificielle aux interfaces cerveau-machine

Neurofeedback ADHD

Développement d'un système de neurofeedback pour aider les enfants ADHD pris en charge à l'ASBL "Vivre autrement".

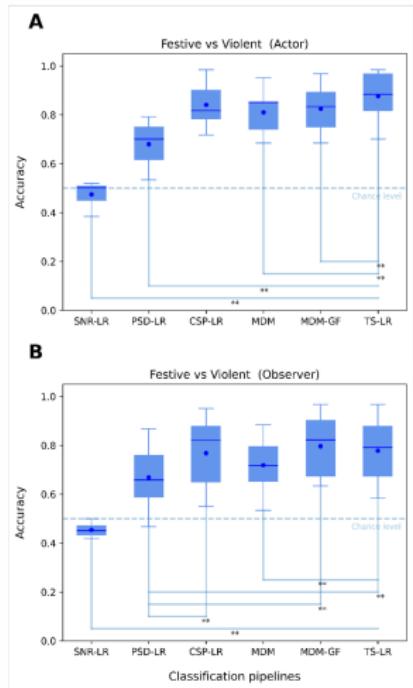
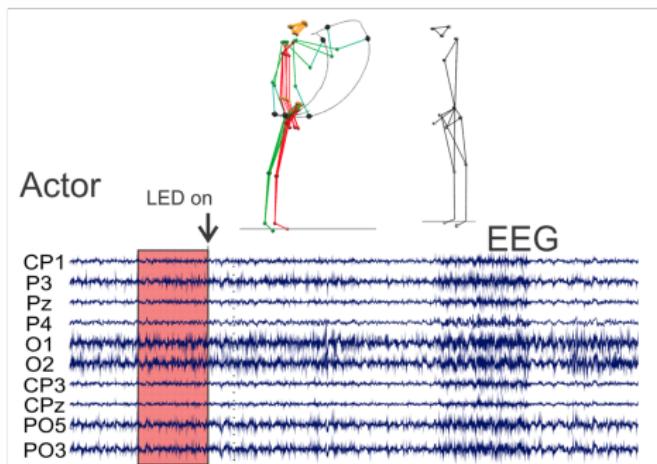


Prédiction de crises épileptiques

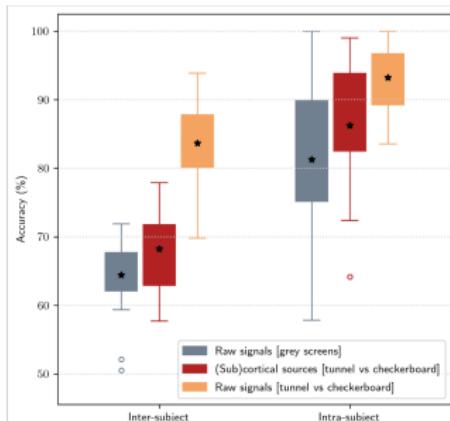
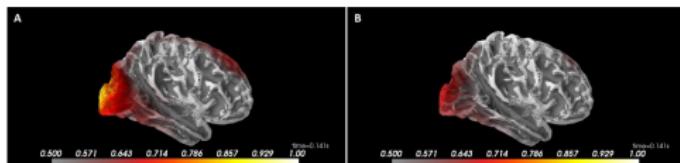
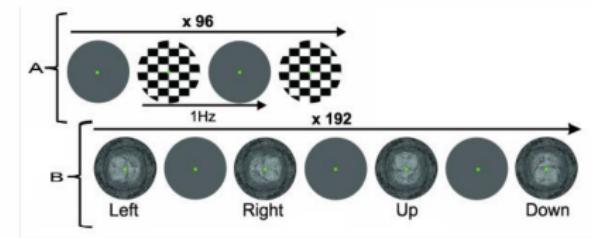


Les interfaces cerveau-machine

Prédiction de l'intention violente d'un geste



Discrimination de stimuli visuels



Les interfaces cerveau-machine

Effet de la microgravité sur les performances cognitives



Nos travaux de recherche actuels

Le contrôle de prothèses électromyographiques

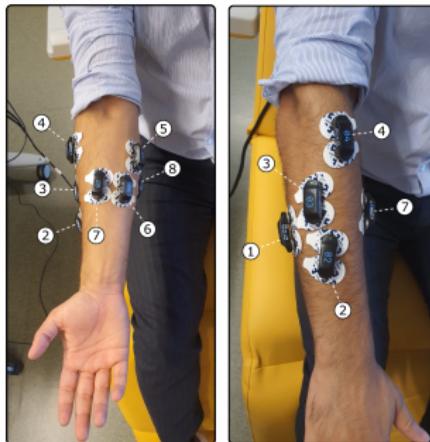
Placement des électrodes EMG

A.

1. Extensor carpi ulnaris
2. Abductor pollicis longus
3. Extensor digitorum
4. Brachioradialis
5. Palmaris longus
& Flexor carpi ulnaris
6. Flexor digitorum profundus
& Palmaris longus
7. Flexor digitorum profundus
& Flexor carpi radialis
8. Flexor carpi ulnaris

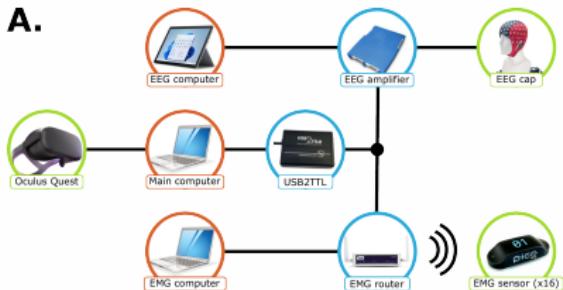


B.



Système d'acquisition

A.

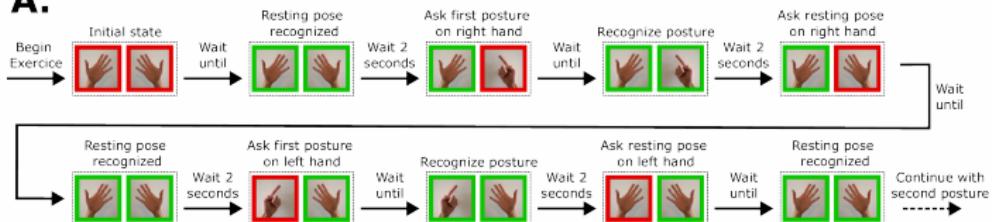


B.

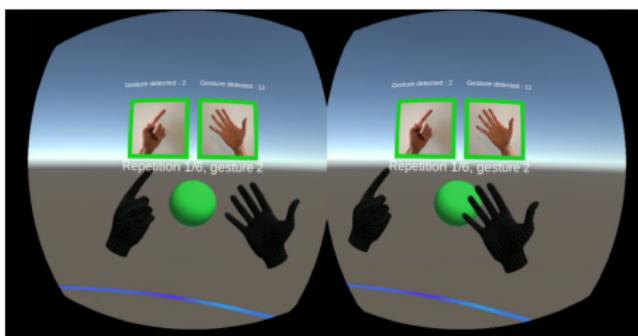


Protocole des gestes déterminés

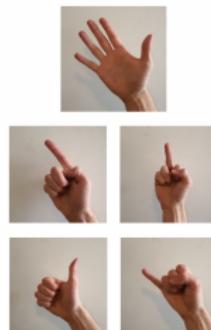
A.



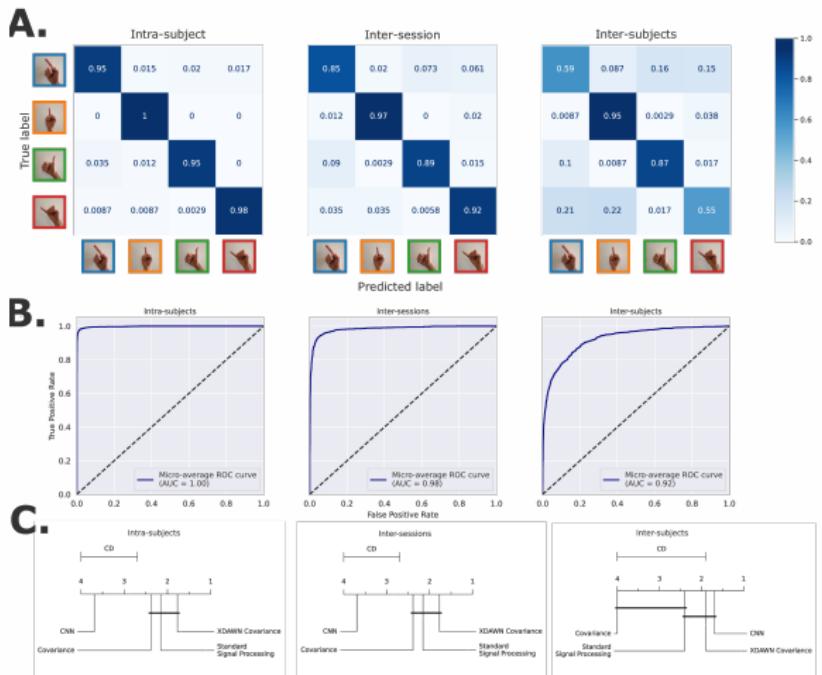
B.



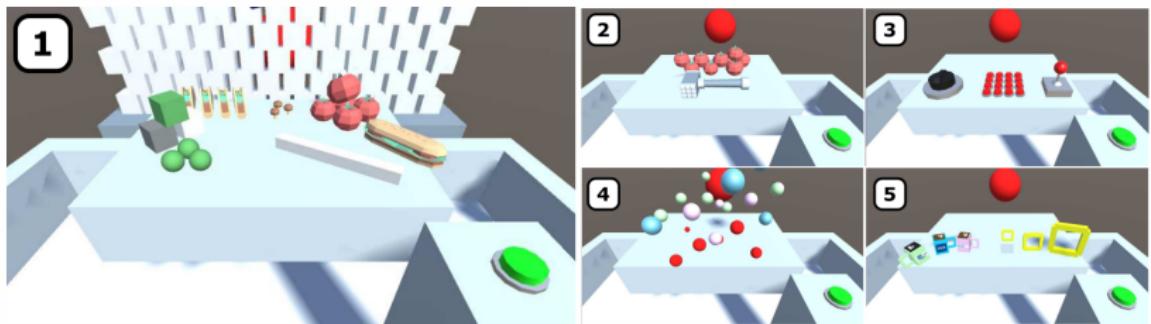
C.



Résultats de classification



Protocole des gestes libres



Détection de la maladie d'Alzheimer avec l'EEG

La maladie d'Alzheimer

La maladie d'Alzheimer est une forme progressive de démence qui affecte la mémoire, la pensée et le comportement.

Elle se caractérise par la formation de plaques de bêta-amyloïde et de enchevêtrements neurofibrillaires (agrégats intracellulaires de protéine tau hyper-phosphorylée) dans le cerveau.

Ces plaques sont reconnues comme corps étranger par le cerveau qui crée une réponse inflammatoire et immunitaire, entraînant la mort des cellules corticales et la neurodégénération.

La maladie d'Alzheimer est une maladie complexe dont les causes et le développement ne sont pas encore bien connus.

Nombres de participants à l'étude

	Raw data	Cleaned data
Healthy controls (HC)	39	11
Subjective cognitive decline (SCD)	37	NA
Mild cognitive impairment (MCI)	90	NA
Alzheimer disease (AD)	57	33

Healthy control: 11 participants: **3795 epochs**

Alzheimer disease: 33 participants: **7080 epochs**

Visualisation des signaux EEG bruts

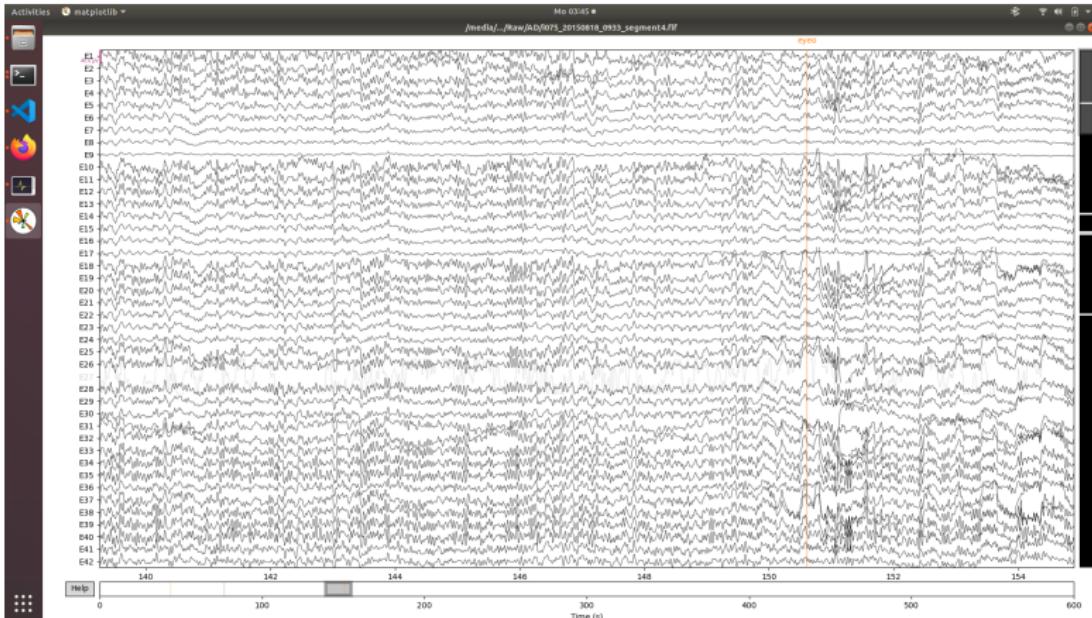


Figure: Raw EEG signal

Échantillonnage des signaux EEG

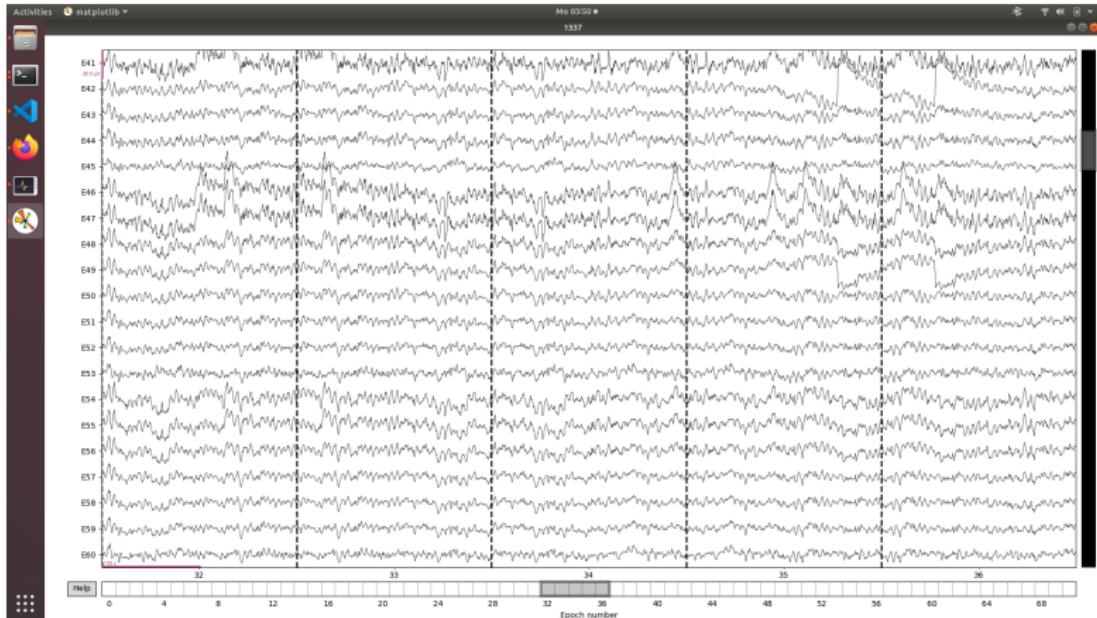
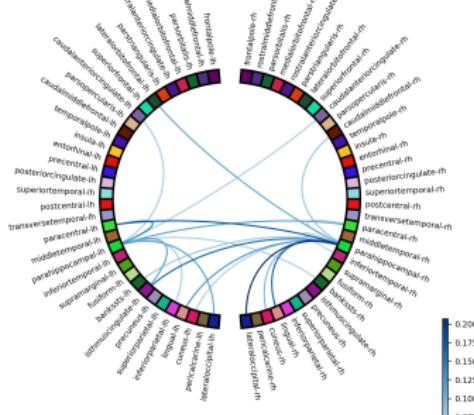


Figure: *EEG epochs of 4s (with 2s overlapping)*

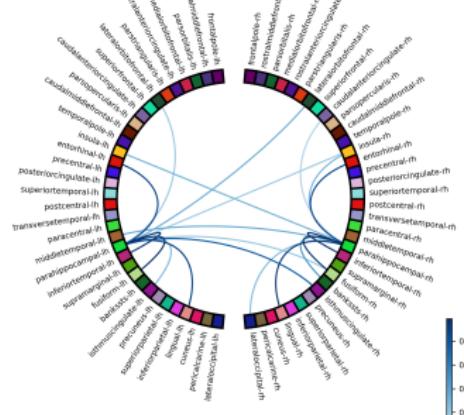
Les interfaces cerveau-machine

Analyse de la connectivité fonctionnelle de la zone parahippocampique

al connectivity (highest 20) of condition: AD estimated with sLORETA and wpli2_debiased (8 - 13

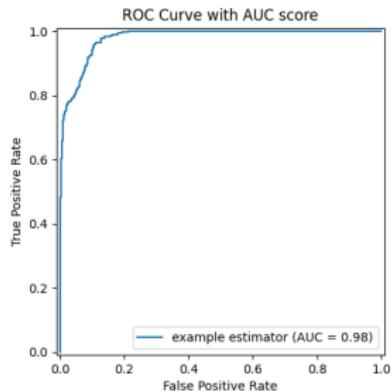
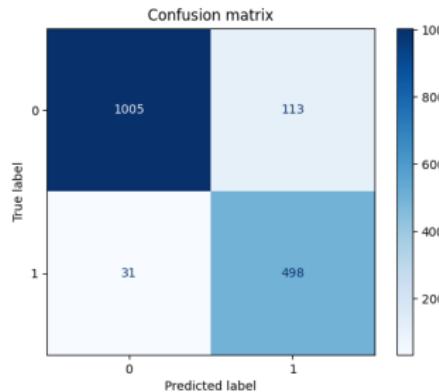


:amtal connectivity (highest 20) of condition: HC estimated with sLORETA and plv (8 - 13Hz)

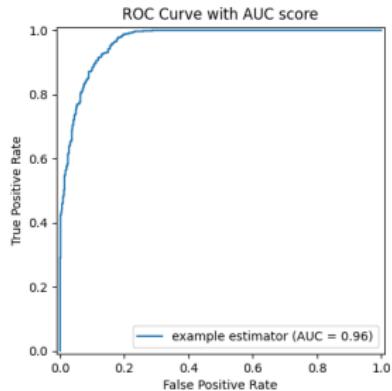
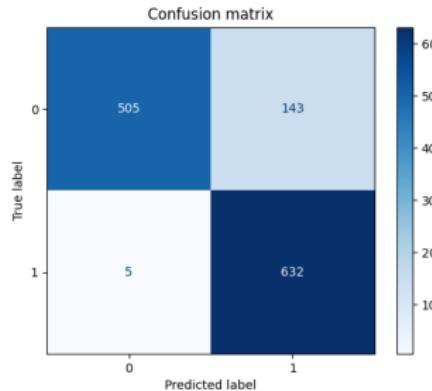


Les interfaces cerveau-machine

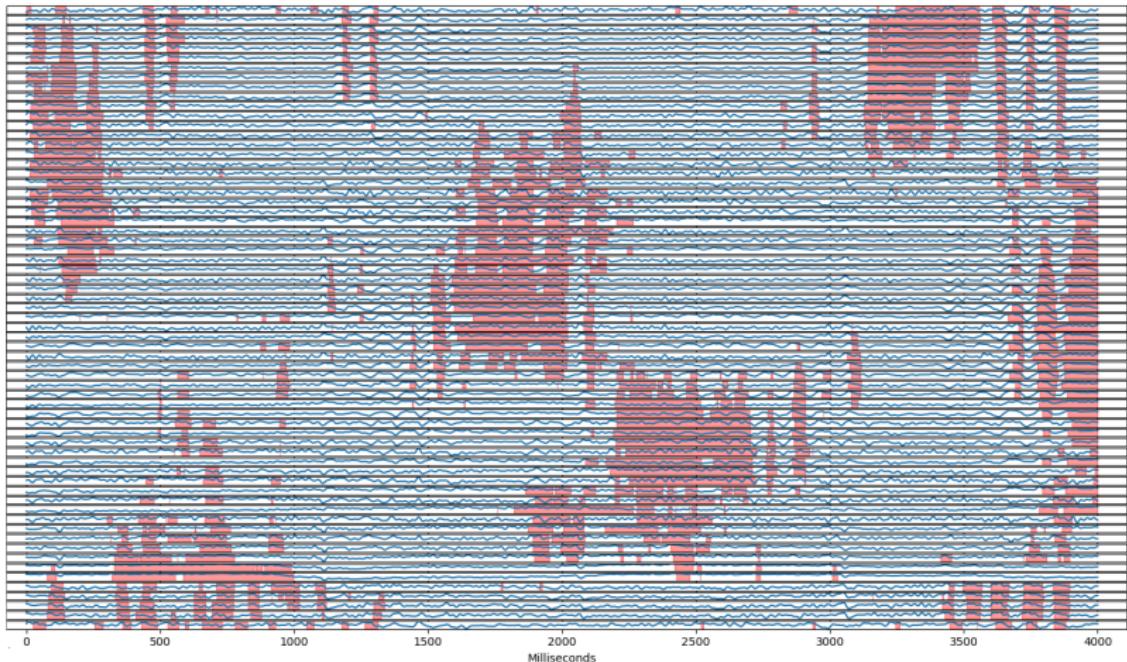
Matrices de covariance et géometrie Riemannienne



Réseaux de neurones convolutifs



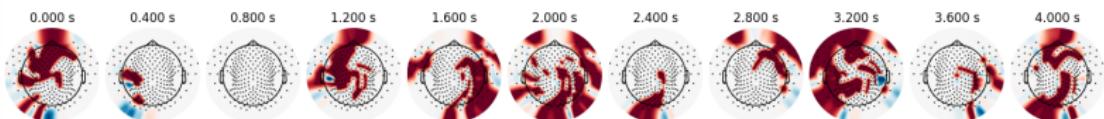
Interprétabilité de la prédiction



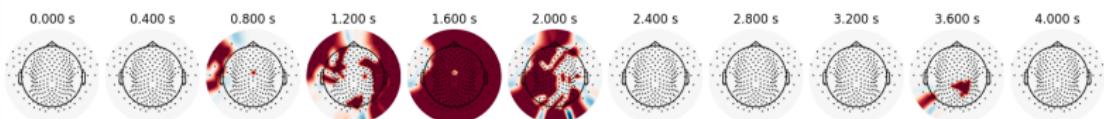
Interprétabilité de la prédiction

Mean importance heatmaps of correct (A) and incorrect (B) CNN predictions

A.



B.



Merci pour votre attention

Démonstrations et questions