



Unil

UNIL | Université de Lausanne

Institut des sciences du sport
de l'Université de Lausanne

Principes et analyses du signal électroencéphalographique (EEG): les relations entre les changements des rythmes corticaux et les comportements perceptivomoteurs

Jérôme Barral

Institut des Sciences du sport de l'Université de Lausanne

Methods and Research meetings / Rencontres Méthodes et Recherche

Préambule

- La pose d'électrodes adéquatement placées sur le scalp et reliées à une chaîne d'amplification permet l'enregistrement d'oscillations électriques de formes sinusoïdales survenant à des fréquences variables. **Ces oscillations constituent l'électroencéphalogramme (EEG).**



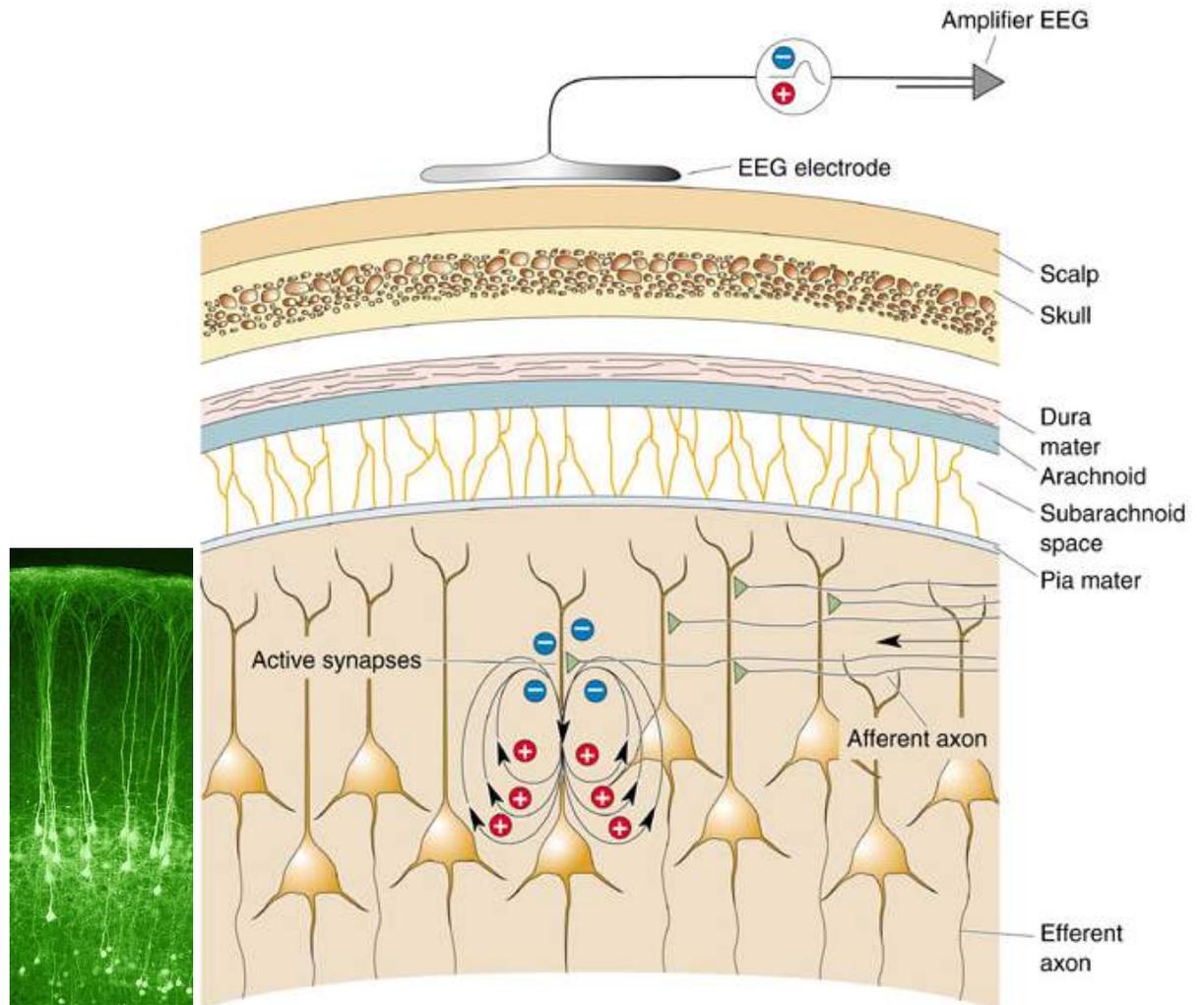
- Cette activité cérébrale électrique (activité de fond) est présente en **permanence** et de manière **spontanée**, indépendante de toute stimulation sensorielle ou de toute activité mentale consciente.
- Des **stimulations internes** ou **externes** peuvent avoir 2 effets sur cette activité spontanée :
 - *Générer des réponses spécifiques de décours temporels variables (potentiels évoqués)*
 - **Modifier les rythmes cérébraux dans différentes bandes de fréquences (synchronisation ou désynchronisation)**

Bases neurobiologiques

Selon le sens de la dépolarisation des dendrites des cellules pyramidales (champs de potentiels) la déflexion enregistrée sur le scalp sera positive ou négative.

La détection au niveau cortical dépend de :

- L'étendue de l'aire corticale
- Sa topographie (profonde ou superficielle)
- De l'angle entre cette zone et l'électrode
- De la résistance des tissus

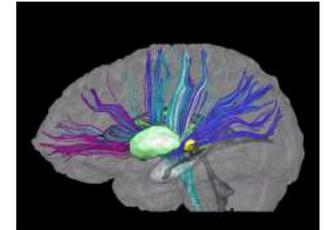


Bases neurobiologiques

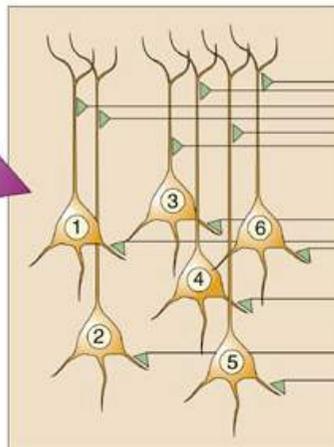
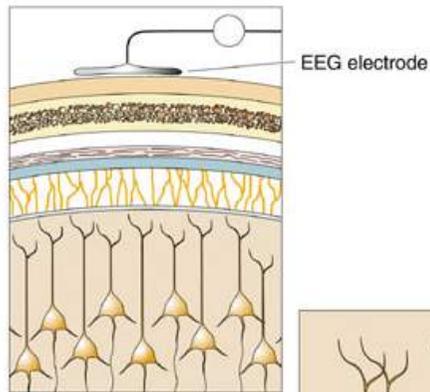
- L'activité électroencéphalographique dépend de l'activité synaptique qui s'exerce sur les dendrites des cellules pyramidales dans les couches supérieures du cortex.
- Cette activité synaptique est comme pour tout système nerveux constitué d'excitation (PPSE) ou d'inhibition (PPSI) qui vont se sommer pour donner éventuellement naissance à un potentiel d'action (PA) dès que le seuil de déclenchement est atteint.
- La somme des potentiels synaptiques de plusieurs centaines de neurones dans la couche supérieure du cortex est enregistrée par l'électroencéphalographe.

Bases neurobiologiques

Il faut que plusieurs neurones additionnent leur activité pour que celle-ci soit détectable par les électrodes de surface. Ce timing est particulièrement important ; une activité neuronale synchronisée augmente l'amplitude du rythme cérébral enregistré.

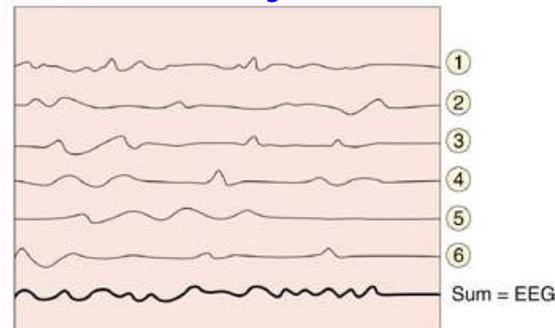


Pacemaker cortical



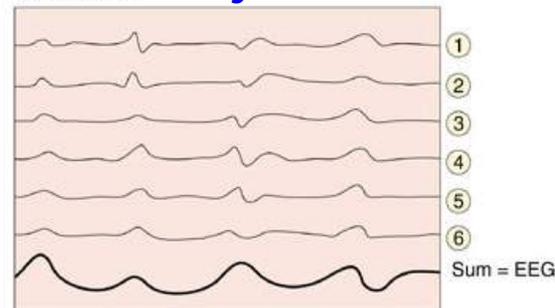
(a)

Irregular **Désynchronisation**



(b)

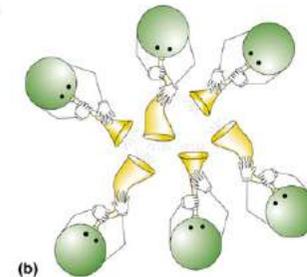
Synchronized **Synchronisation**



(c)



(a)



(b)

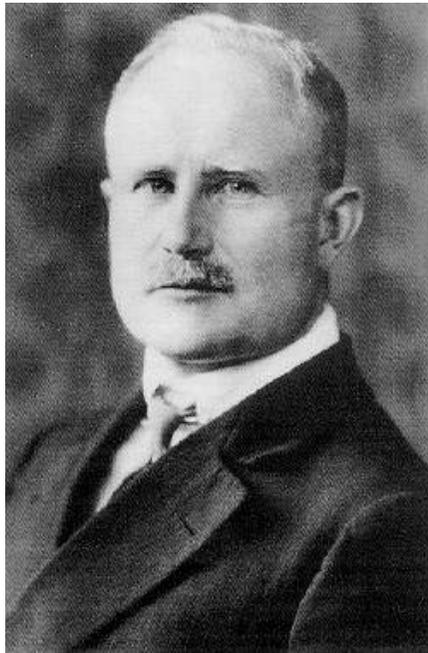
Bases neurobiologiques

- Certains neurones (ou groupes de neurones) du cortex et du thalamus présentent des **propriétés rythmiques oscillatoires intrinsèques**
- Il existe, au niveau des réseaux neuronaux, une dynamique complexe de ces activités rythmiques intrinsèques qui **conduit aux différentes configurations rythmiques de l'EEG de surface**

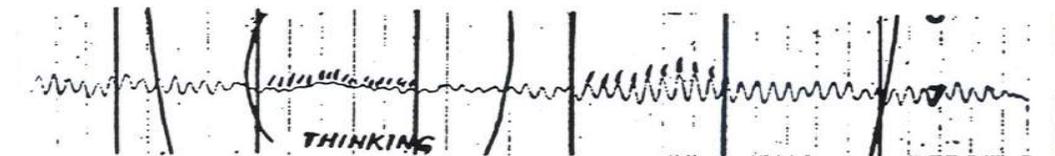
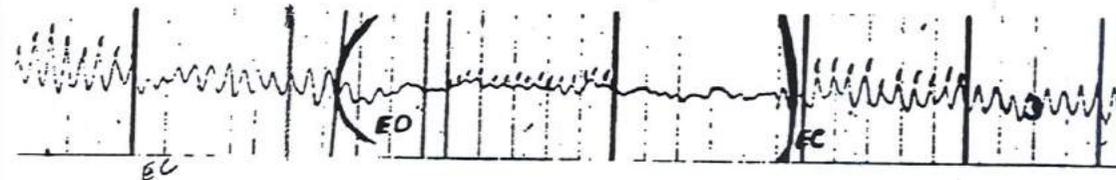
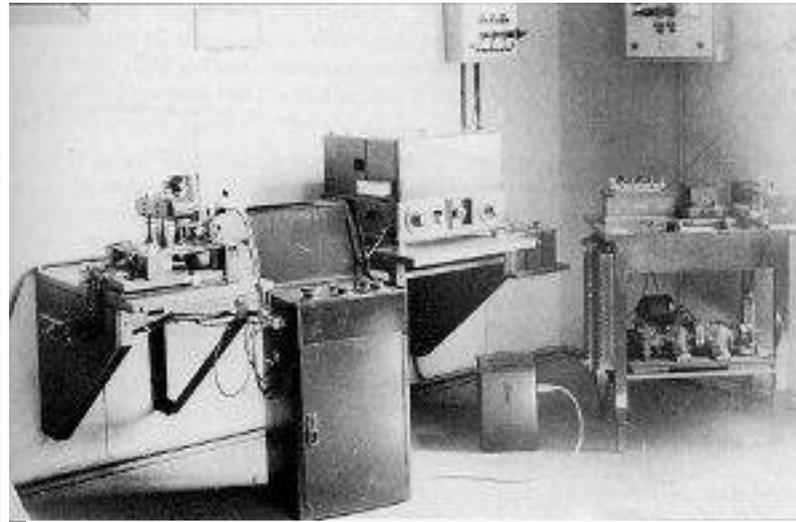
Enregistrer un EEG

Le père de l'EEG chez l'humain est Hans Berger

Commence à étudier l'EEG en 1924, et publie ses premiers résultats en 1929

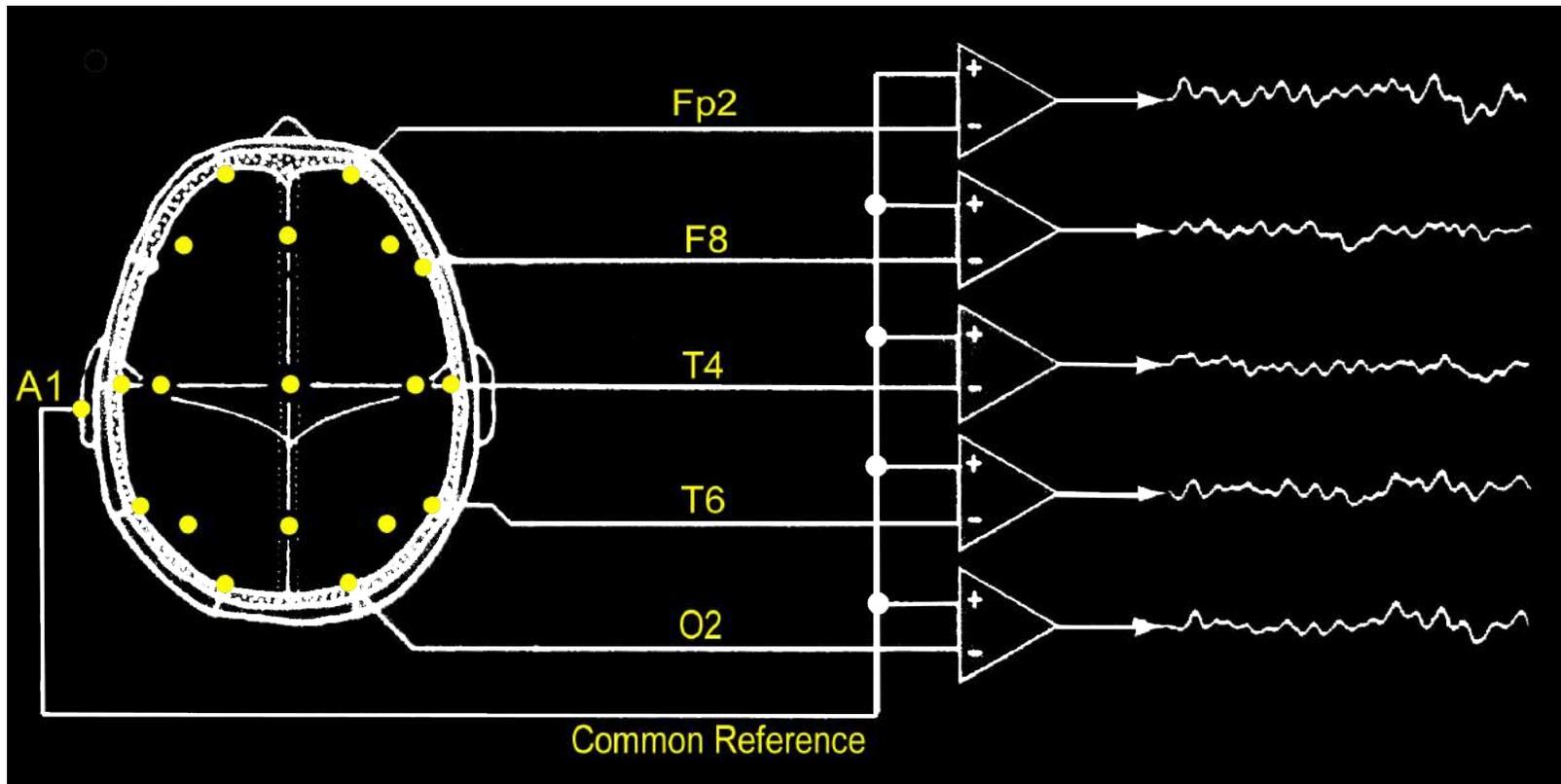


Docteur Hans Berger



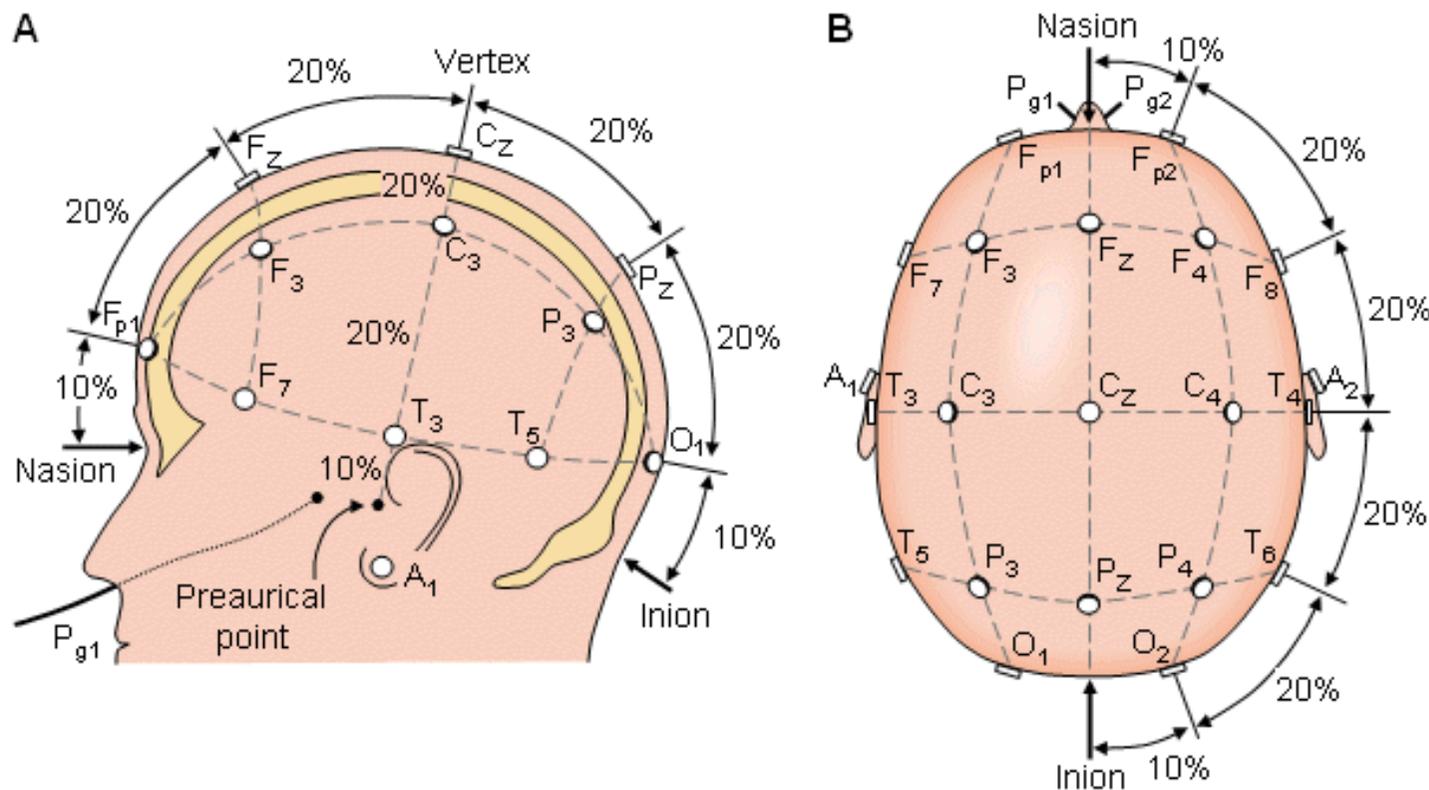
Enregistrer un EEG

Enregistrement des canaux EEG



Enregistrer un EEG

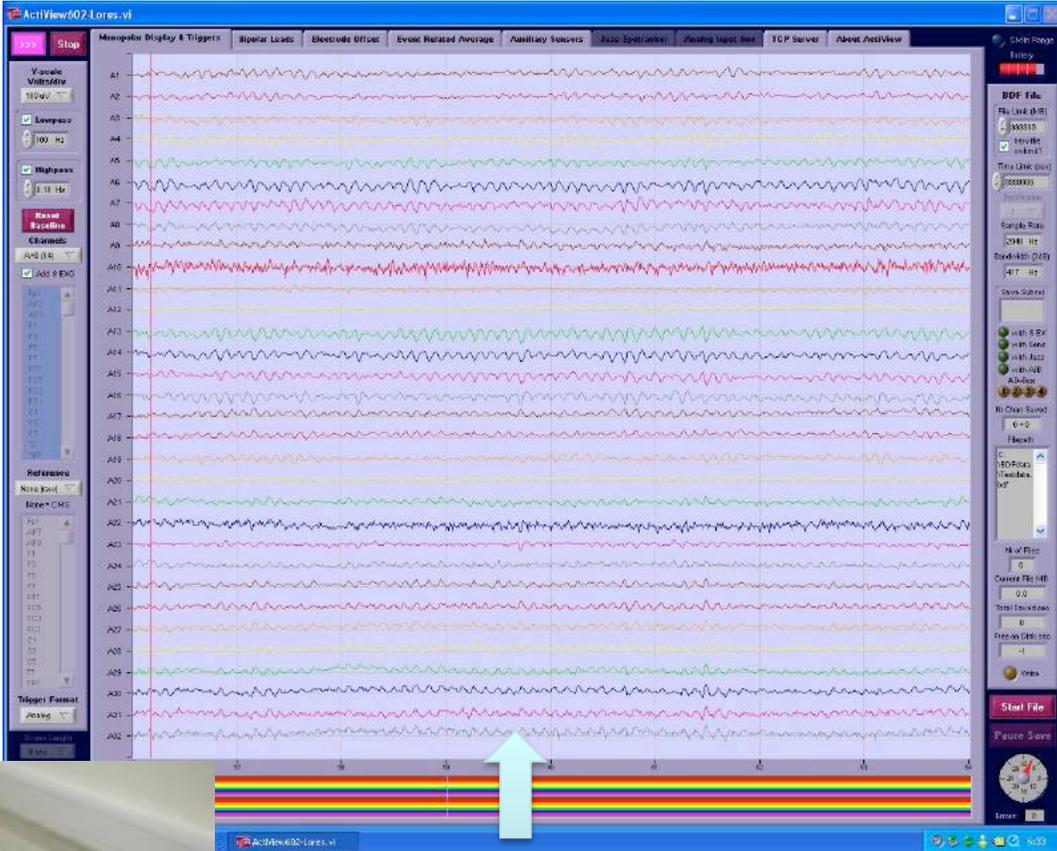
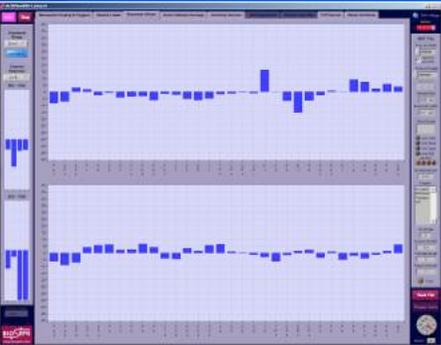
Le système international 10/20



Localisation : Frontal, Temporal, Pariétal, Occipital, Central
z pour la ligne centrale

Numérotation: Nombre pair → hémisphère droit
Nombre impair → hémisphère gauche

Enregistrer un EEG

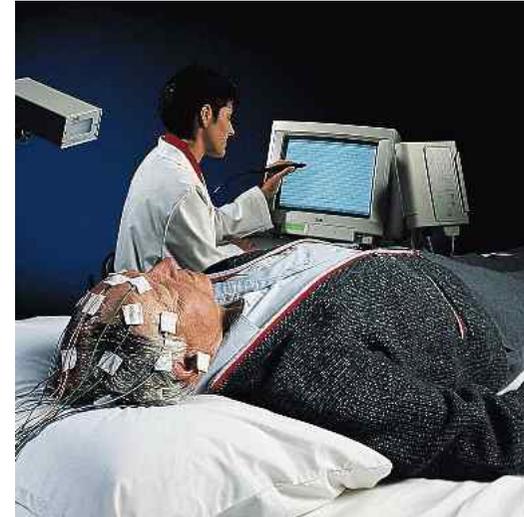


Enregistrer un EEG

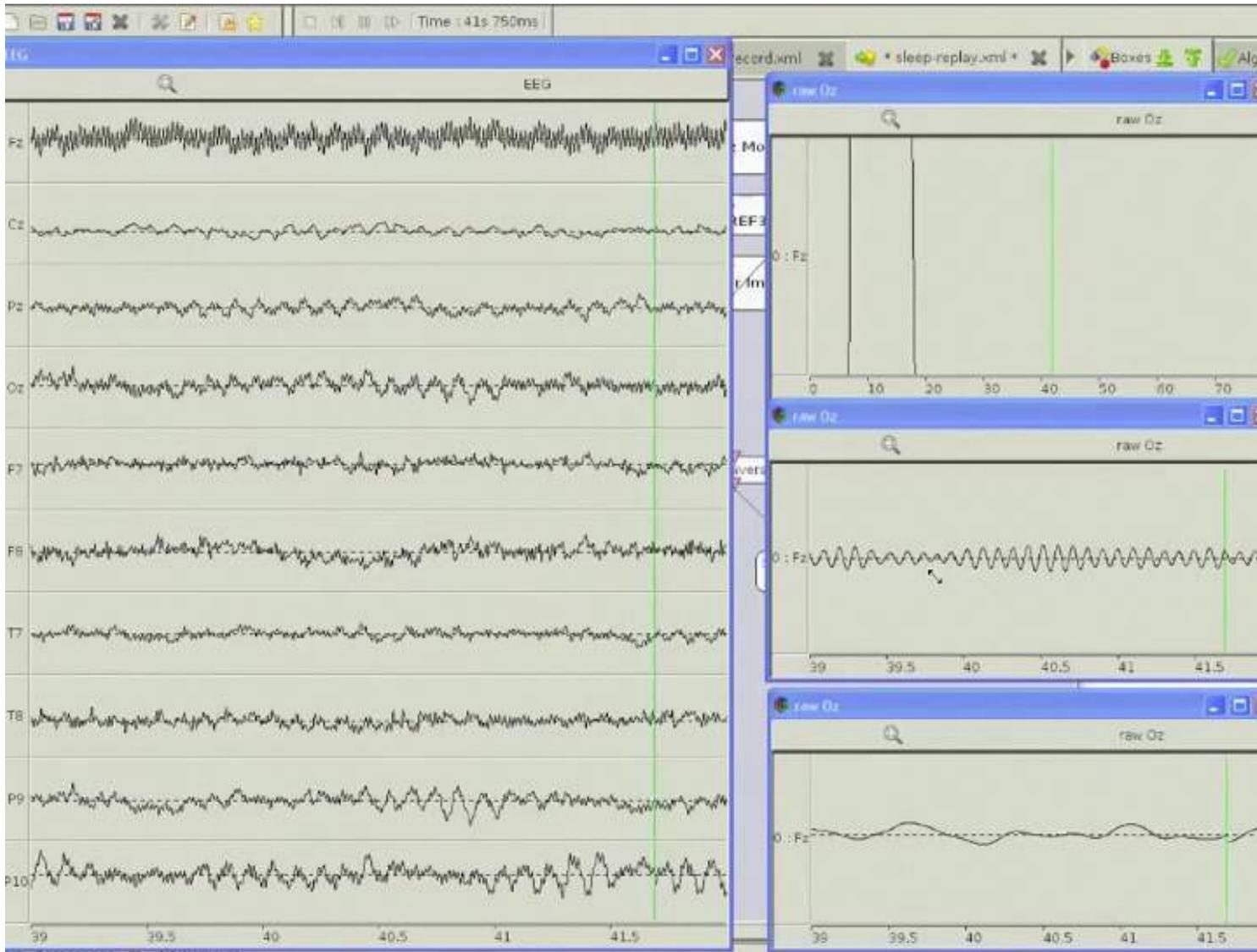
Applications

- (1) monitor alertness, coma and brain death;
- (2) locate areas of damage following head injury, stroke, tumour, etc.;
- (3) test afferent pathways (by evoked potentials);
- (4) monitor cognitive engagement (alpha rhythm);
- (5) produce biofeedback situations, alpha, etc.;
- (6) control anaesthesia depth (“servo anaesthesia”);
- (7) investigate epilepsy and locate seizure origin;
- (8) test epilepsy drug effects;
- (9) assist in experimental cortical excision of epileptic focus;
- (10) monitor human and animal brain development;
- (11) test drugs for convulsive effects;
- (12) investigate sleep disorders and physiology.

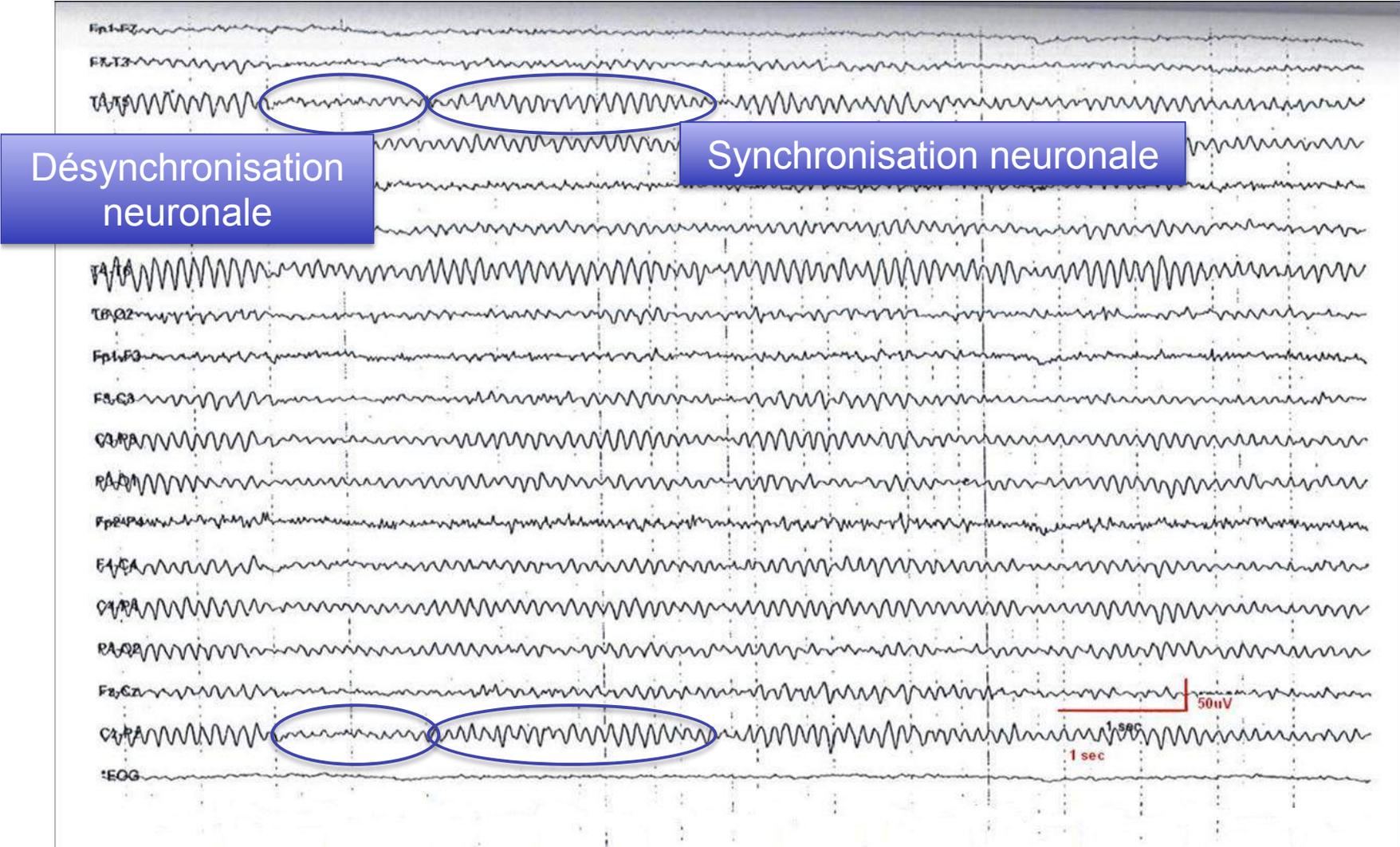
In: Teplan (2002), Measurement Science Review.



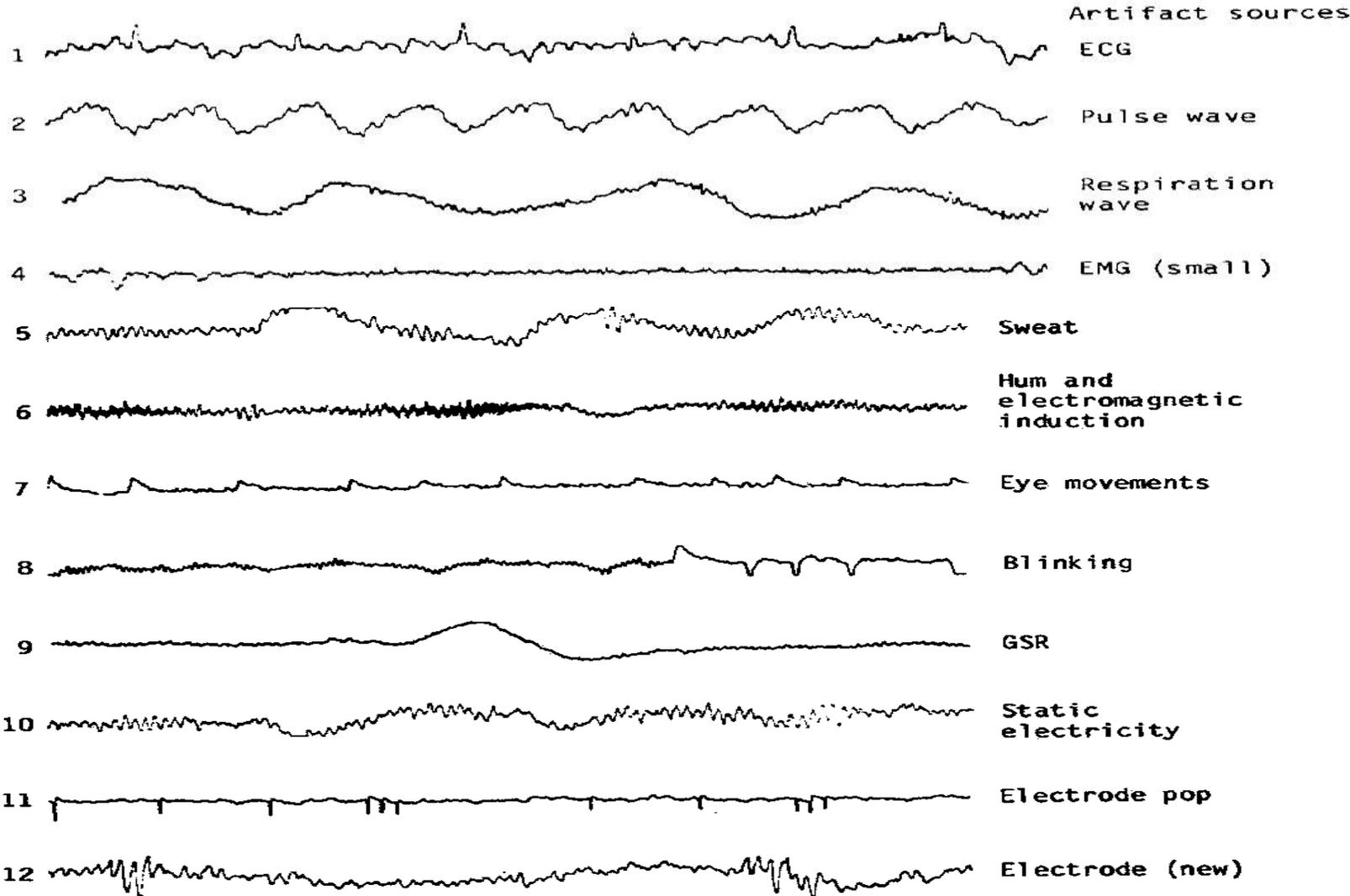
Enregistrer un EEG



Enregistrer un EEG



Enregistrer un EEG

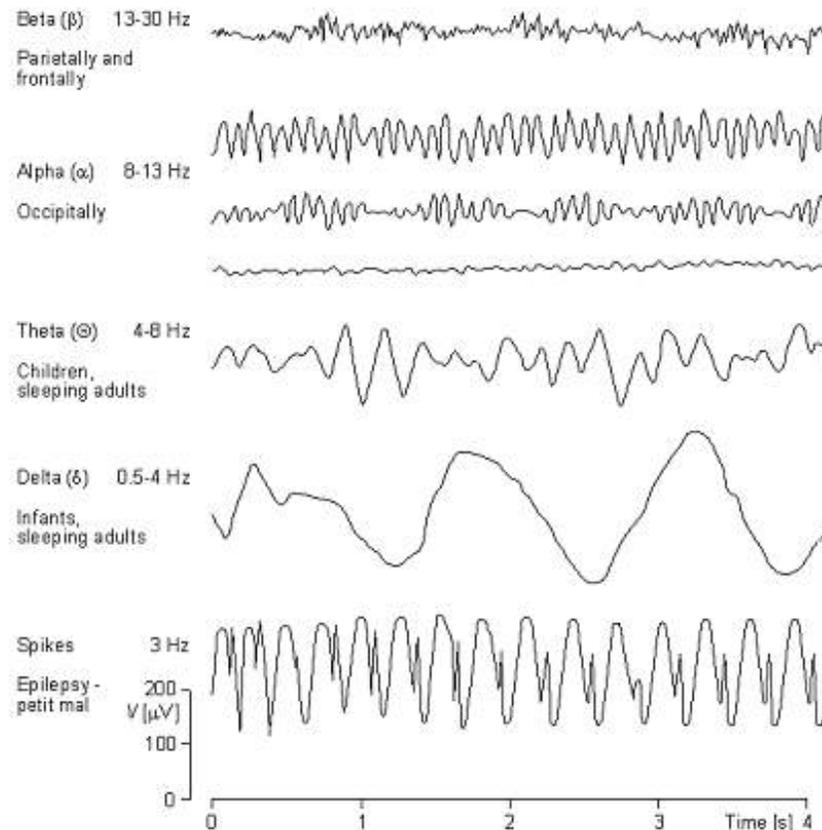


Les méthodes d'analyses

Les différents rythmes cérébraux

Un rythme cérébral est caractérisé par :

- *Sa bande de fréquence*
- *Sa répartition*
- *Sa morphologie ou son amplitude*
- *Sa réactivité*



L'activité locale du cortex change sous l'effet d'un événement sensoriel ou moteur (réactivité)

Les méthodes d'analyses

Les 3 principaux rythmes cérébraux dans les études sur les coordinations perceptivo-motrices :

Le **rythme alpha** (8-12Hz) plutôt visible dans les **régions pariéto-occipitales** / Joue un rôle dans les processus attentionnels / indépendant du type de mouvement / sensible à YO-YF;

Le **rythme beta** (13-30Hz) reflèterait les processus moteurs (Hari & Salmelin, 1997 ; Pfurtscheller et al., 2000);

Le **rythme mu** (ou Rolandic) (8-12 Hz) représente un processus fonctionnel important dans le traitement des relations entre perception et action (Pineda, 2005, p.57). Enregistré au dessus des **régions sensorimotrices** uniquement, il est indépendant topographiquement du rythme beta (McFarland et al., 2000) et par rapport au rythme alpha ne « répond » qu'au mouvement.

Les méthodes d'analyses

Le rythme sensorimoteur : *mu*

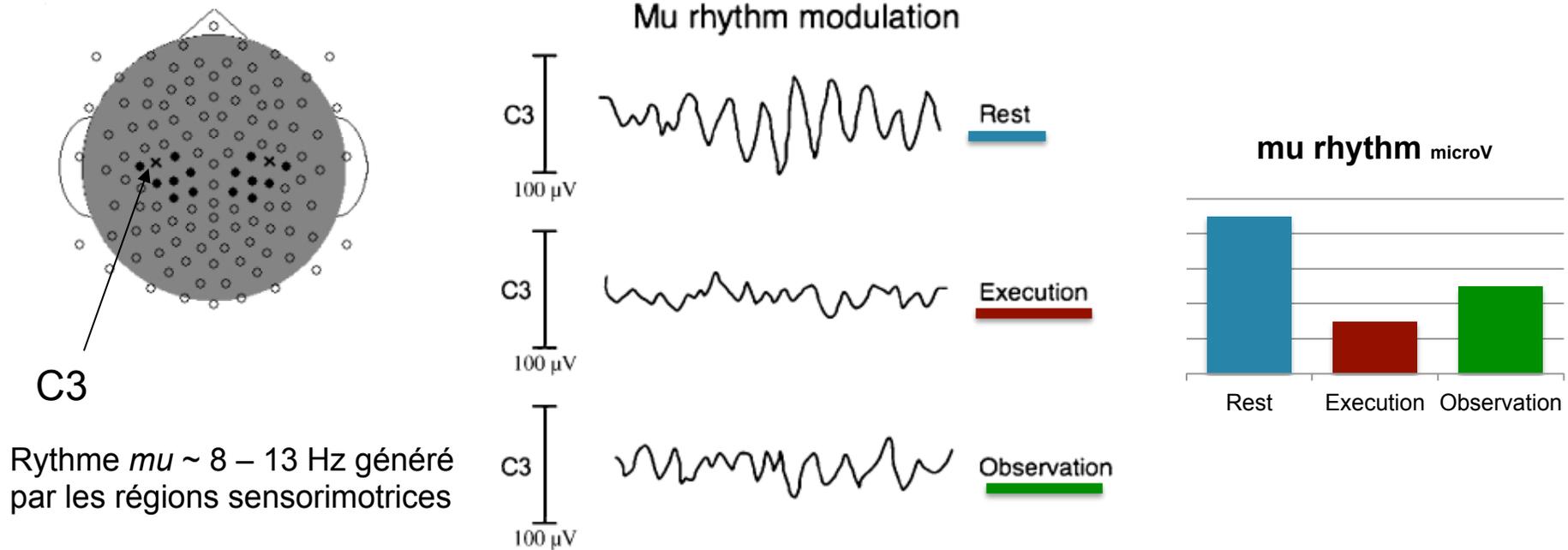


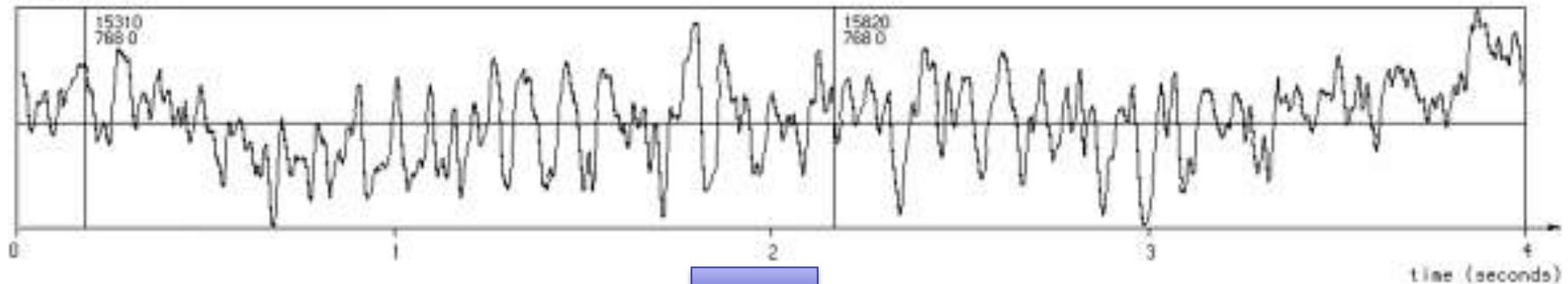
Figure 1 EEG traces showing mu rhythm modulation during rest, execution of a grasping movement, and passive observation of a human model performing a grasping movement. It can be seen that mu rhythm amplitude decreases during both action execution and action observation at electrode position C3, which overlies sensorimotor cortex.

Les méthodes d'analyses

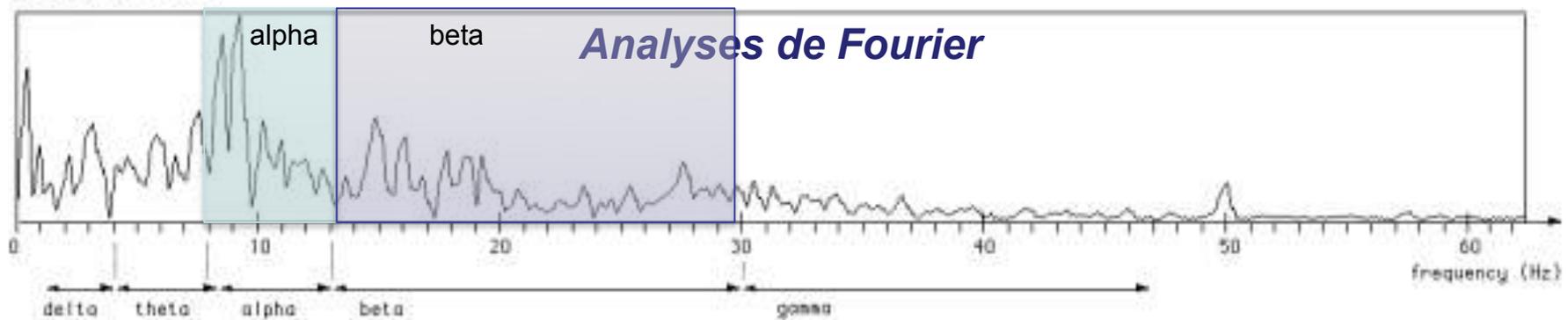
L'analyse de puissance spectrale

Sample EEG Recording

Time series

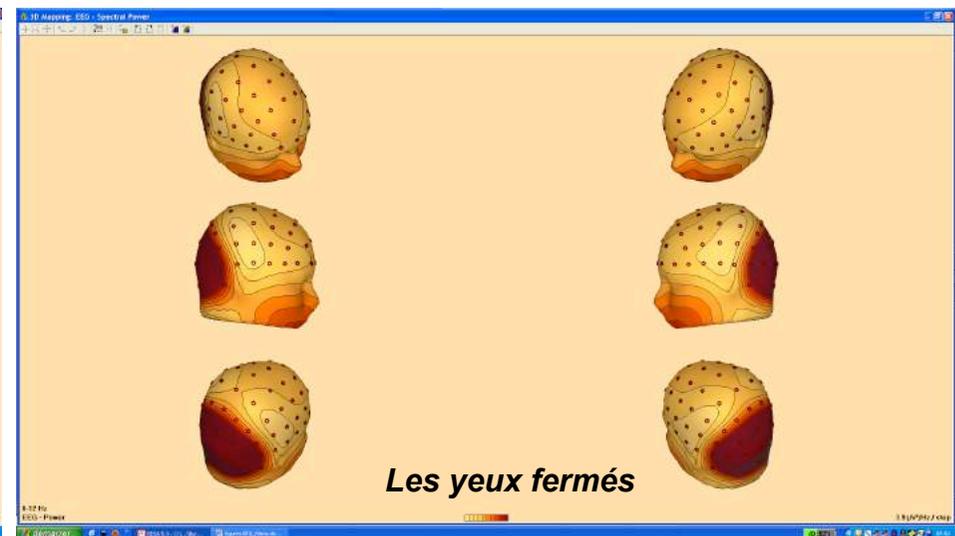
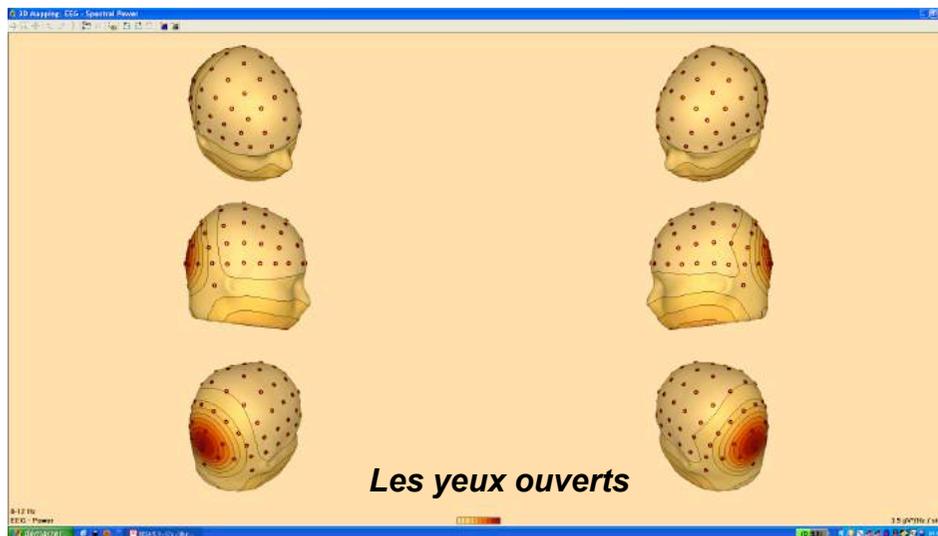
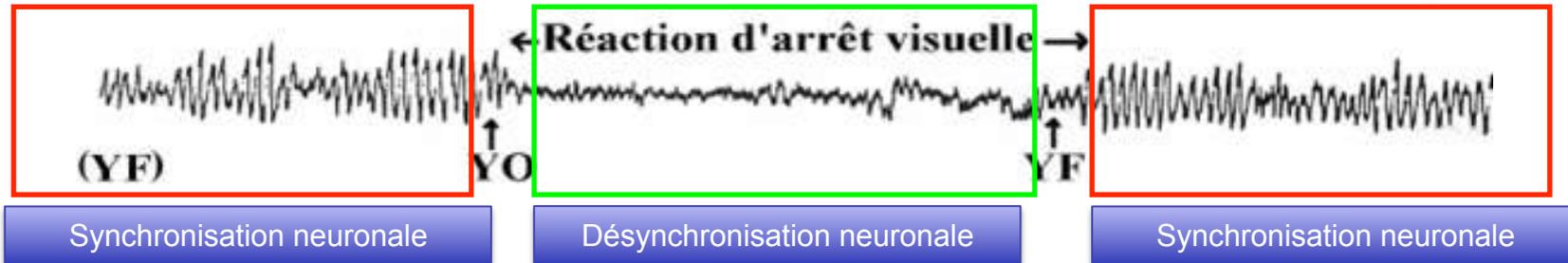


Power Spectrum



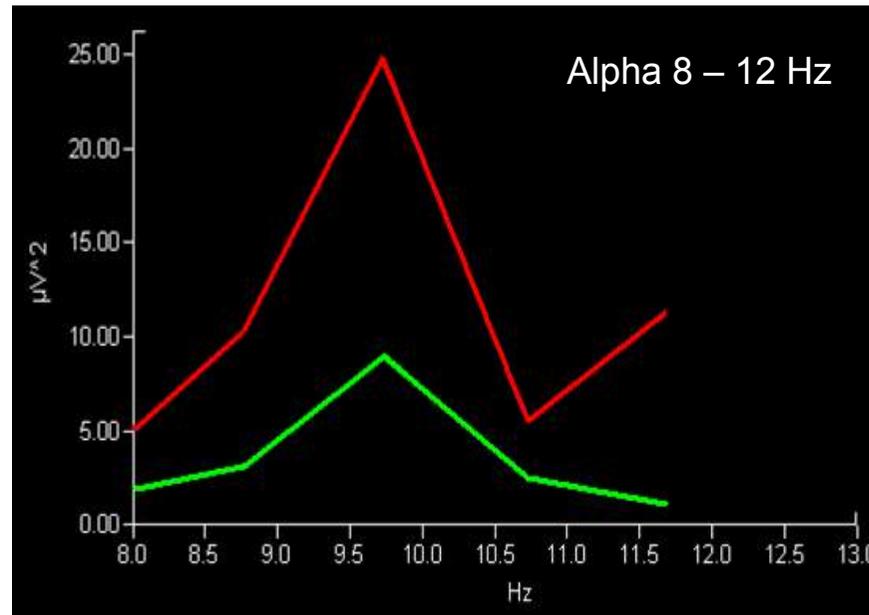
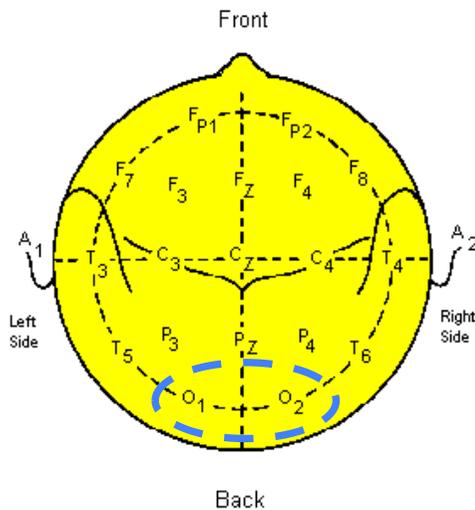
Les méthodes d'analyses

ANALYSE DE L'EEG CONTINU - alpha (8-12 Hz)



Les méthodes d'analyses

ANALYSE DE L'EEG CONTINU - alpha (8-12 Hz)



Task-related Power:

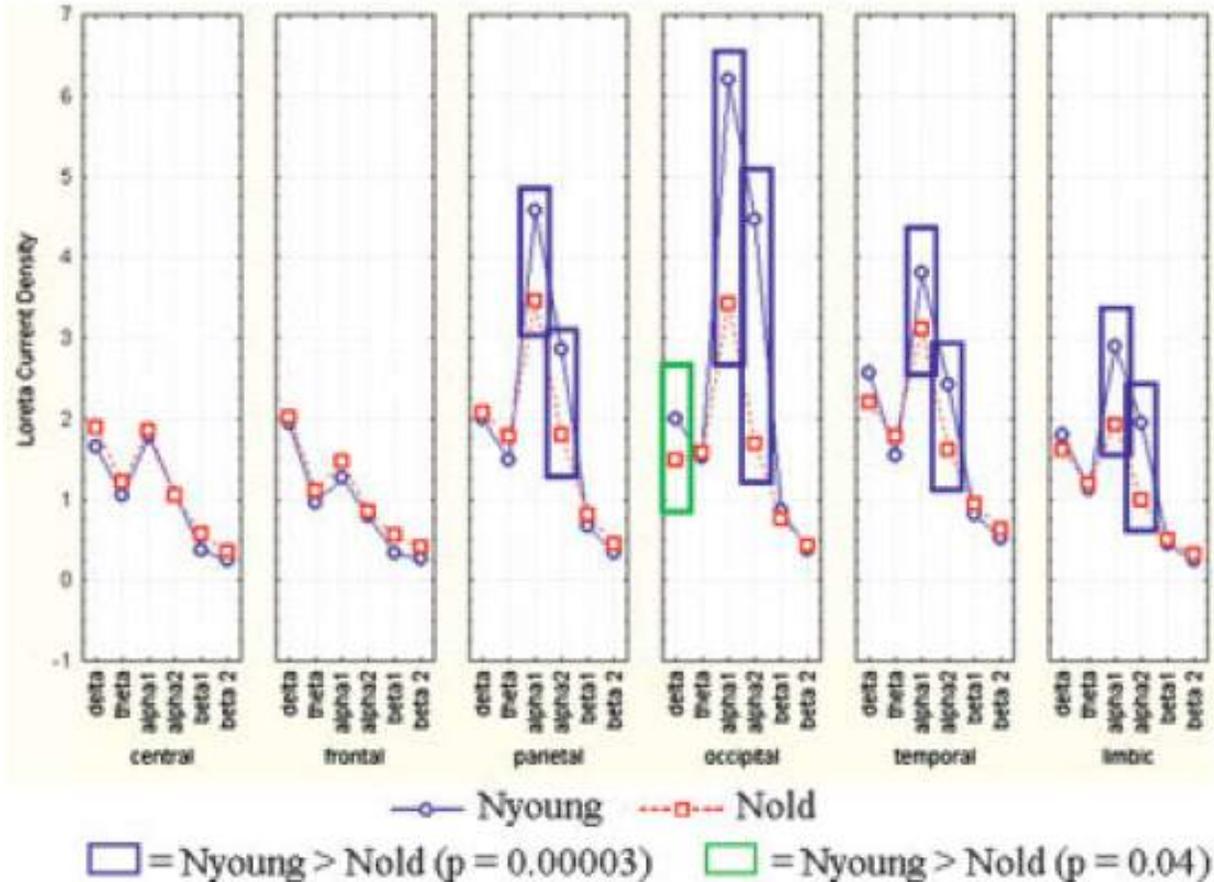
$$TR[\log POW] = \log(POW_{e0}) - \log(POW_{ec}) \text{ (ou log ratio)}$$

TRpow < 0 : **Désynchronisation**

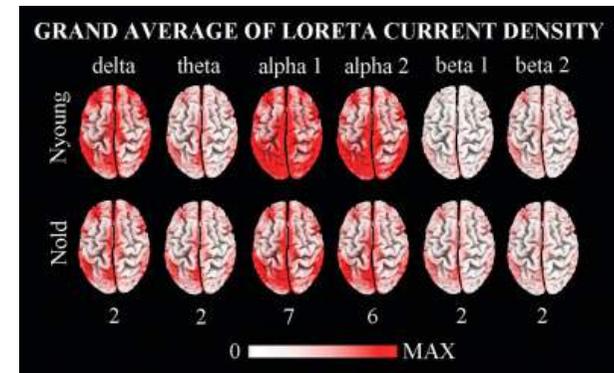
TRpow > 0 : **Synchronisation**

Ex.1 : Effet de l'âge sur les rythmes alpha

ANALYSE DE L'EEG CONTINU - alpha (8-12 Hz)



108 jeunes adultes (27 ans)
 107 adultes âgés (67 ans)

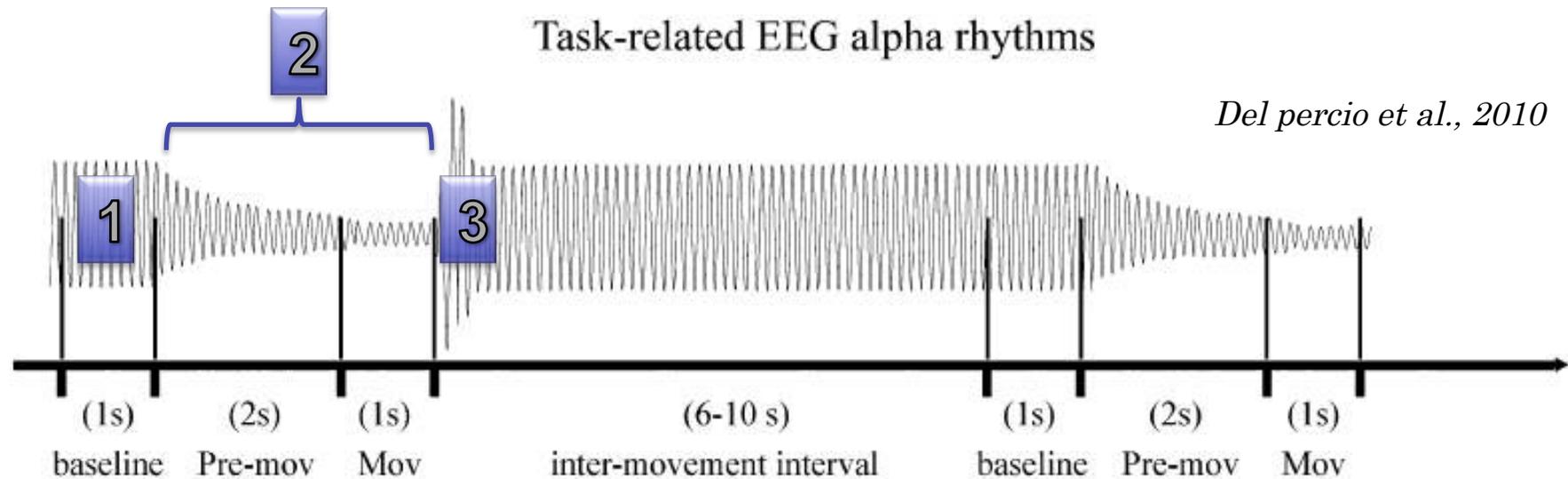


Babiloni et al., 2006

Au repos, le rythme cortical alpha subit une diminution de son amplitude avec l'âge.

Les méthodes d'analyses

Event-related Desynchronisation (**ERD**) / Event-related Synchronisation (**ERS**)



Les variations de **puissances** (ou amplitudes) sont toujours exprimées en fonction d'une ligne de base (pré-stimulus). Ici c'est **1**

2 Diminution de l'amplitude = activation corticale

3 Augmentation de l'amplitude = désactivation corticale

Synchronisation / Désynchronisation

Event-related Desynchronisation (ERD) / Event-related Synchronisation (ERS)

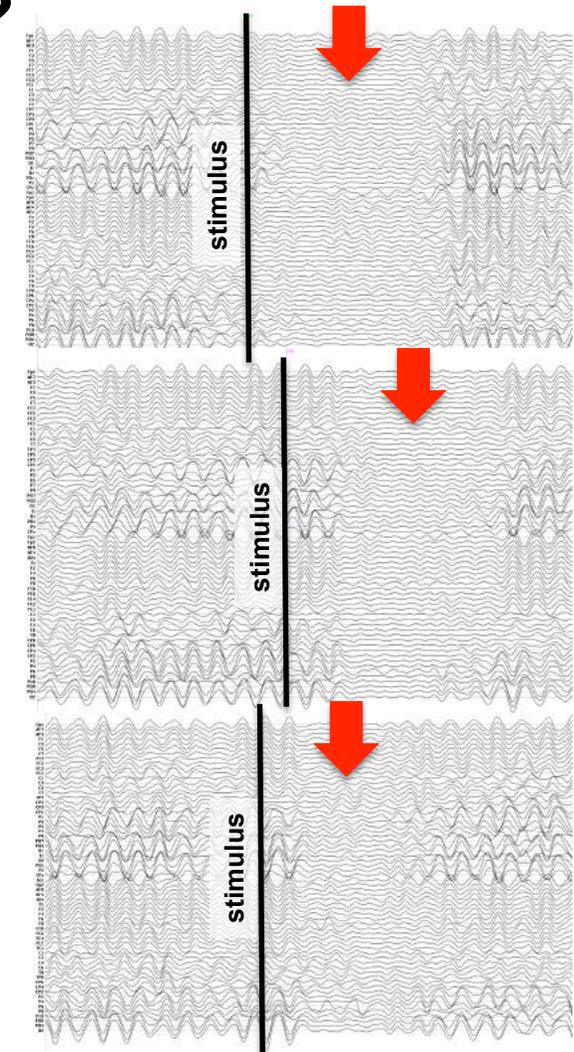
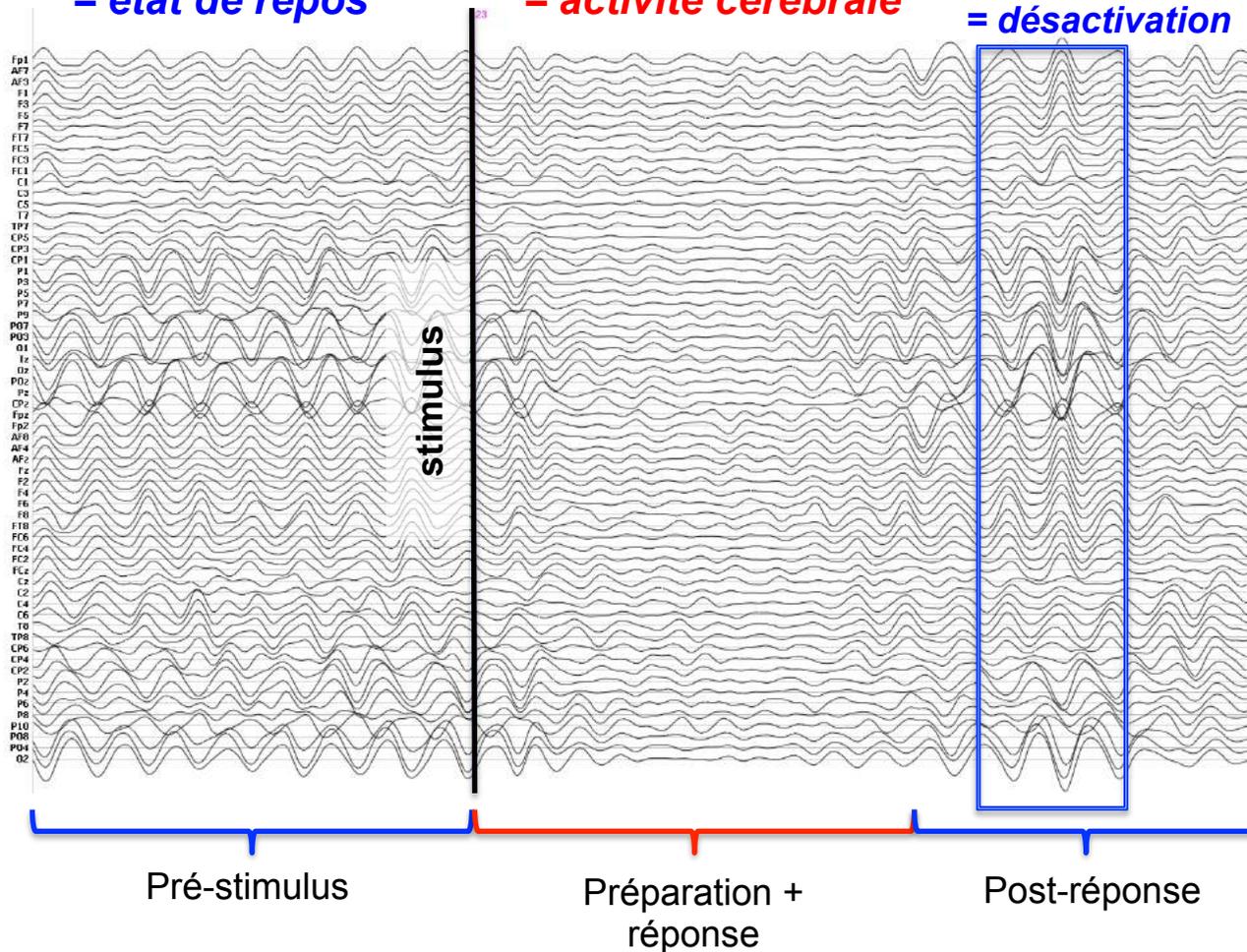
Les voir en direct, est-ce possible ?

Exemple dans les fréquences alpha (8-12Hz)

Synchronisation
= état de repos

Désynchronisation
= activité cérébrale

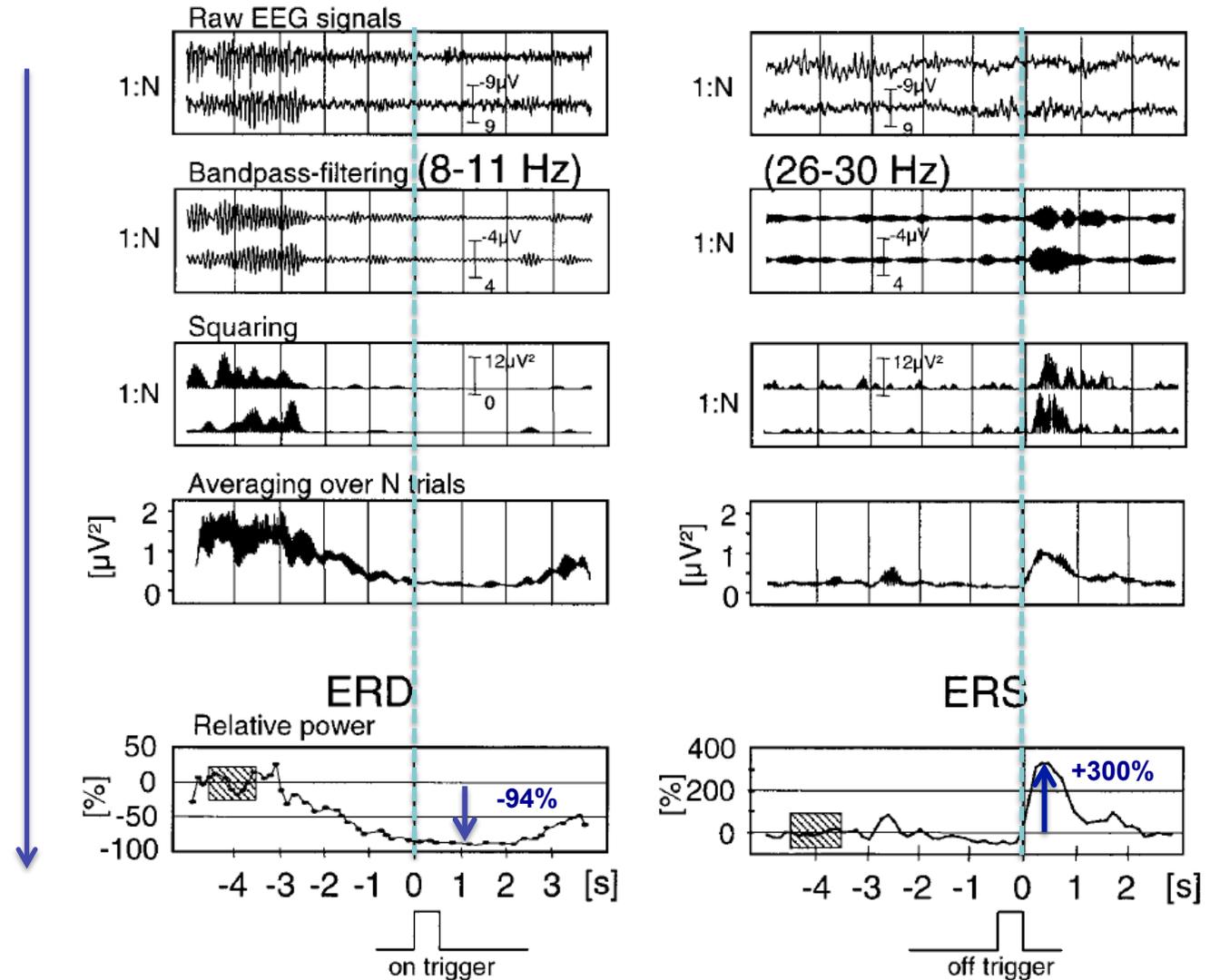
Rebond de Synchronisation
= désactivation



Synchronisation / Désynchronisation

Event-related Desynchronisation (ERD) / Event-related Synchronisation (ERS)

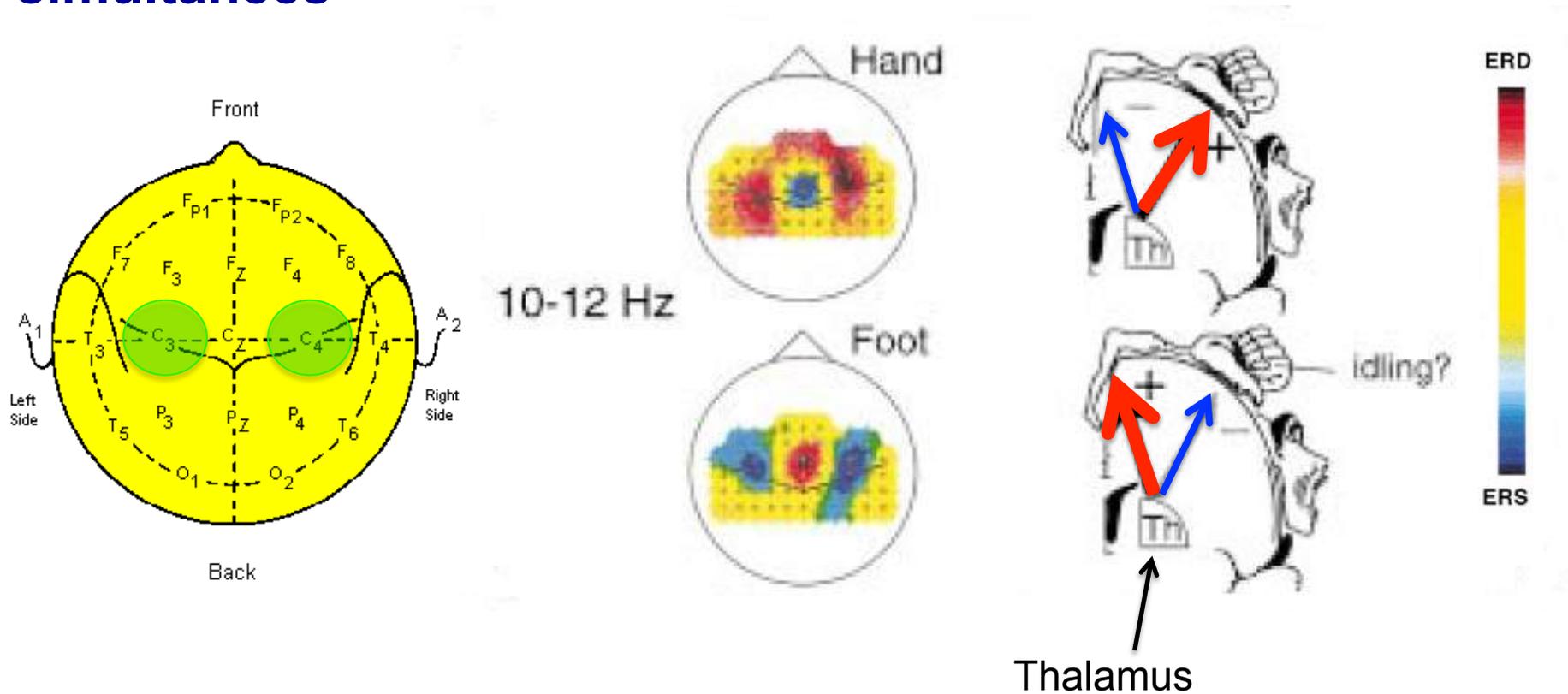
Les différentes étapes d'analyse pour exprimer l'évolution (relative à la baseline) de la puissance spectrale dans le temps et par rapport à un évènement



Synchronisation / Désynchronisation

Antagonisme ERD et ERS

Une réponse motrice = une activation & une désactivation simultanées



Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999

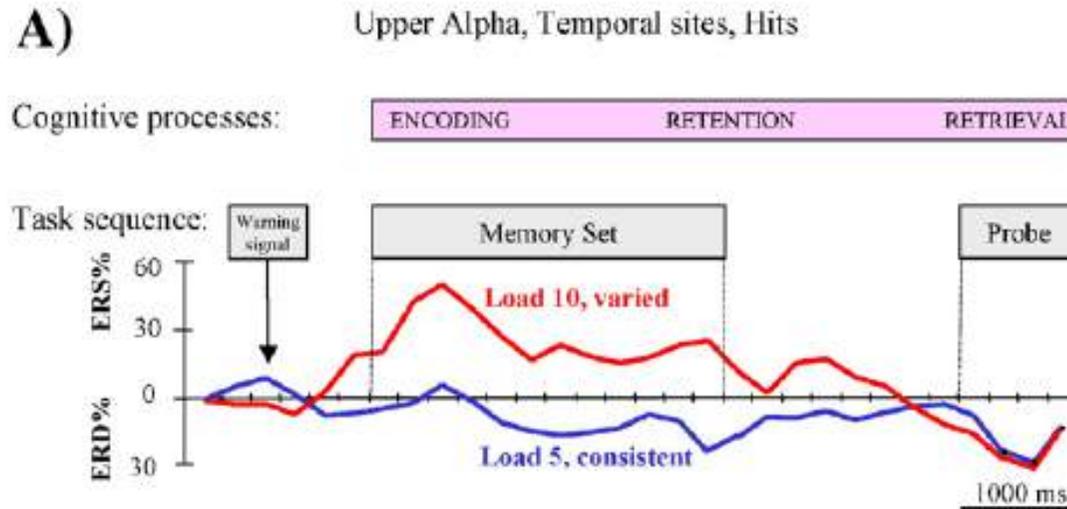
Synchronisation / Désynchronisation

- **ERD** : une augmentation de l'activité neuronale des systèmes thalamo-corticaux entraîne une diminution de l'amplitude du signal EEG → ERD = un corrélat électro-physiologique des régions corticales impliquées dans le traitement des informations sensorielles ou cognitives ou de production du comportement moteur (l'ERD diminue aussi avec l'apprentissage).
- **ERS** : Représente un état de repos, de blocage de l'activité ou d'inhibition active. Elle peut être présente après une réponse motrice (rebond) ou dans les régions corticales qui ne sont pas impliquées dans la tâche en cours.

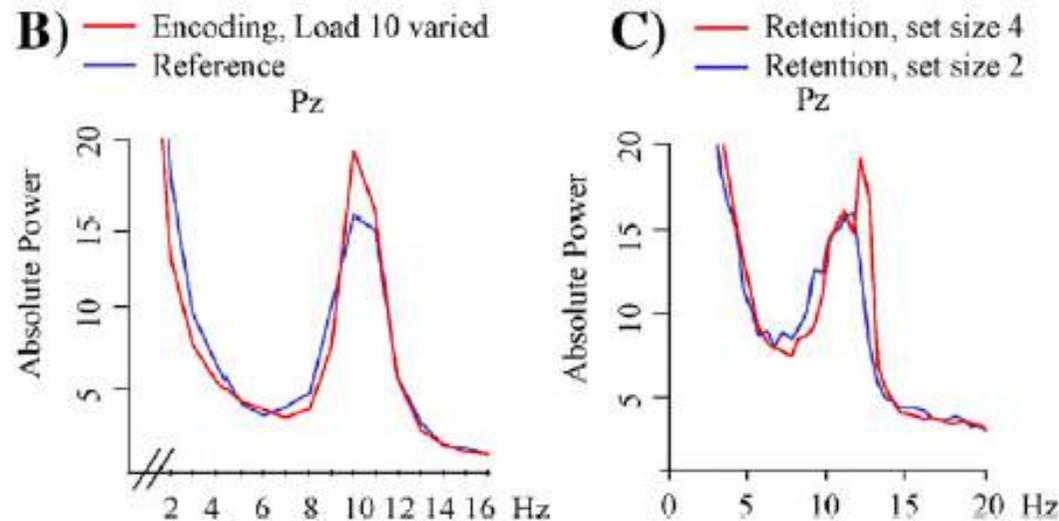
« [...] beta rebound likely represents the “resetting” of the underlying cortical networks »

Pfurtscheller et al., 2005

Ex 2 : tâche de mémorisation



ERS en alpha élevé pendant la phase de rétention dans une tâche de Sternberg modifiée.



ERS augmente avec la charge mnésique

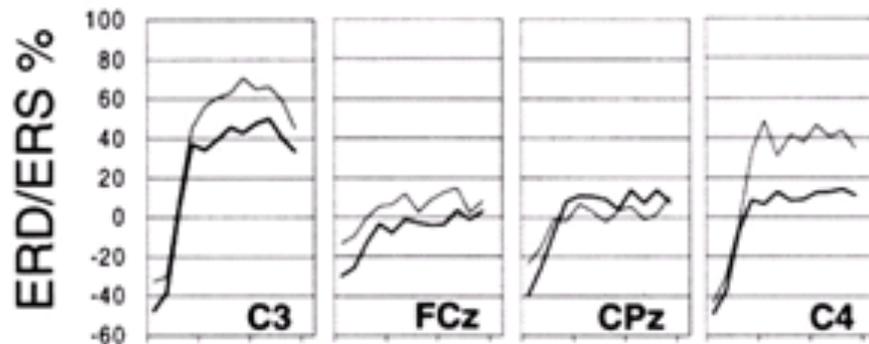
ERD présent dans la phase de récupération

Klimesch et al., 2007

Ex 3 : effet de l'âge sur le rebond ERS

Right Thumb Movement

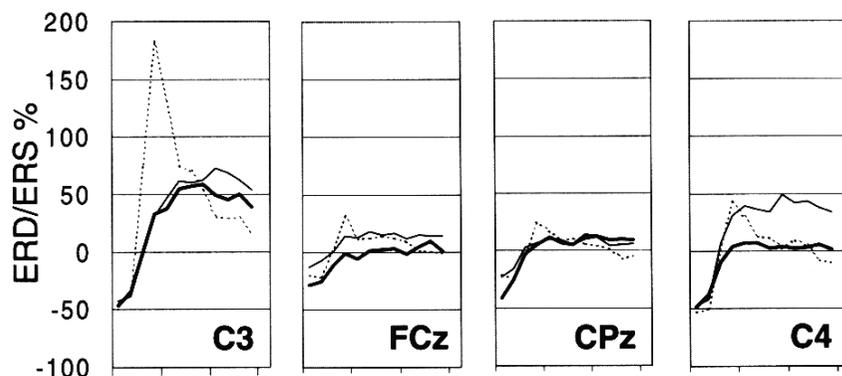
12-16 Hz



..... young
 — PD patients

ERS = une nouvelle mesure pour identifier et investiguer les dysfonctionnements du système moteur

Le ralentissement et la diminution de cette phase de désactivation pourrait empêcher la bonne préparation « corticale » du mouvement suivant.



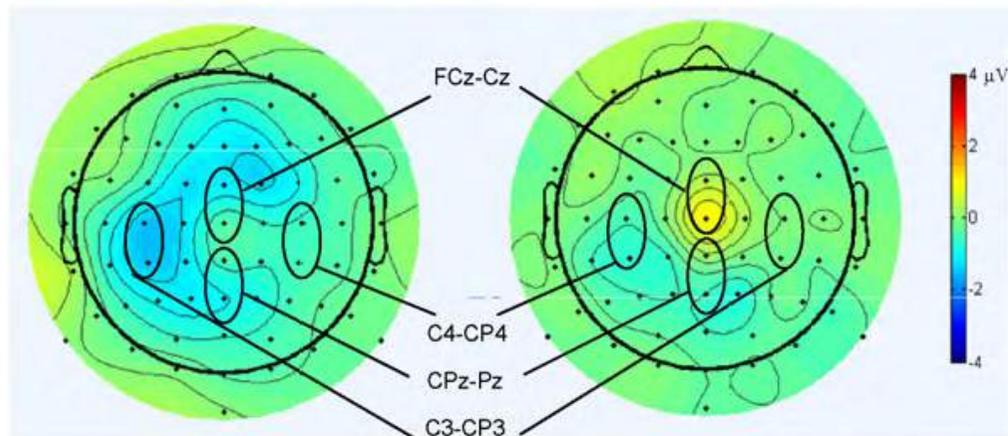
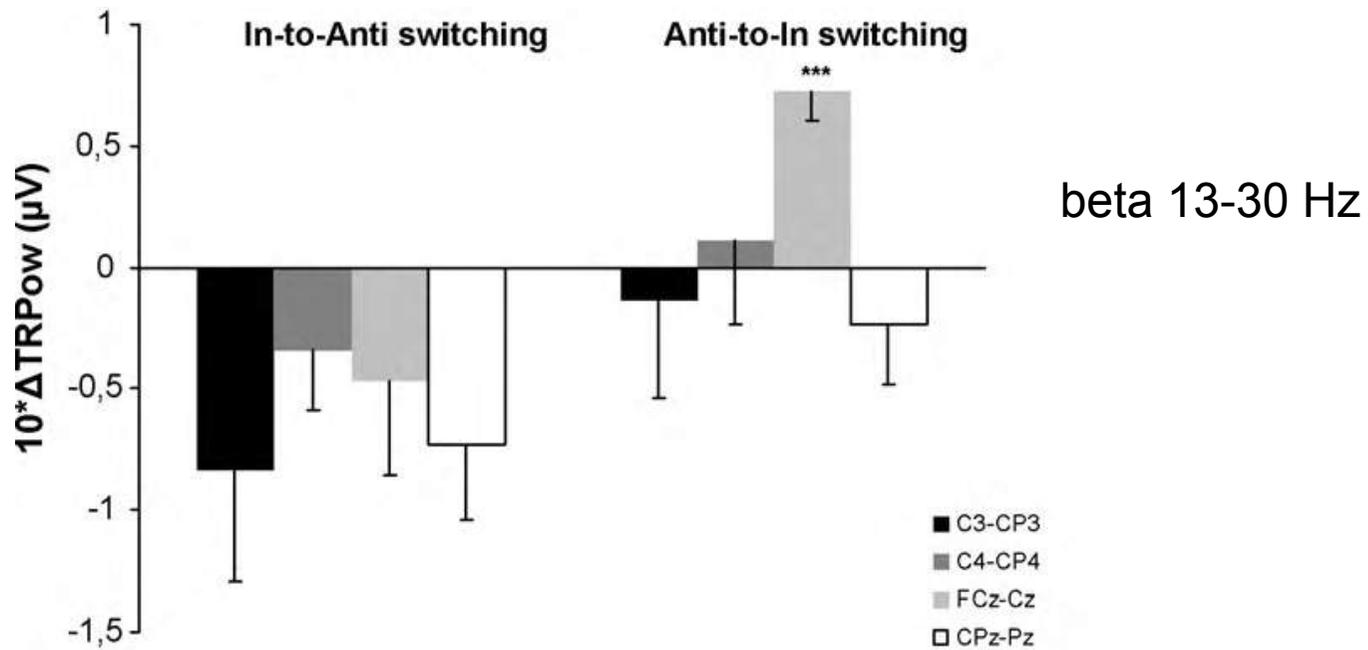
1 s

..... young (N=9)
 — elderly (N=17)
 — PD patients (N=17)

16-20 Hz

Pfurtscheller et al., 1998

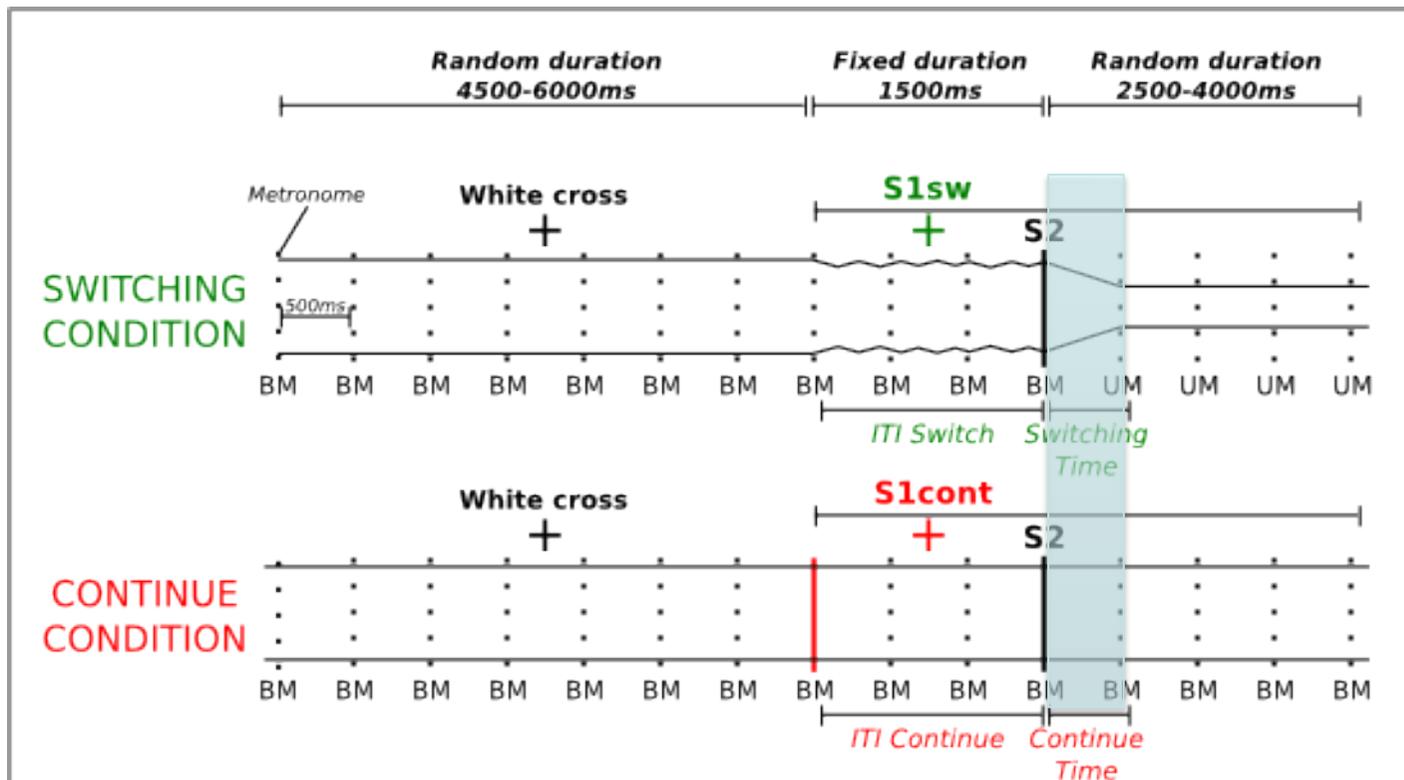
Ex 4 : les transitions motrices



Tallet et al., 2010

Ex.4 : Transitions motrices

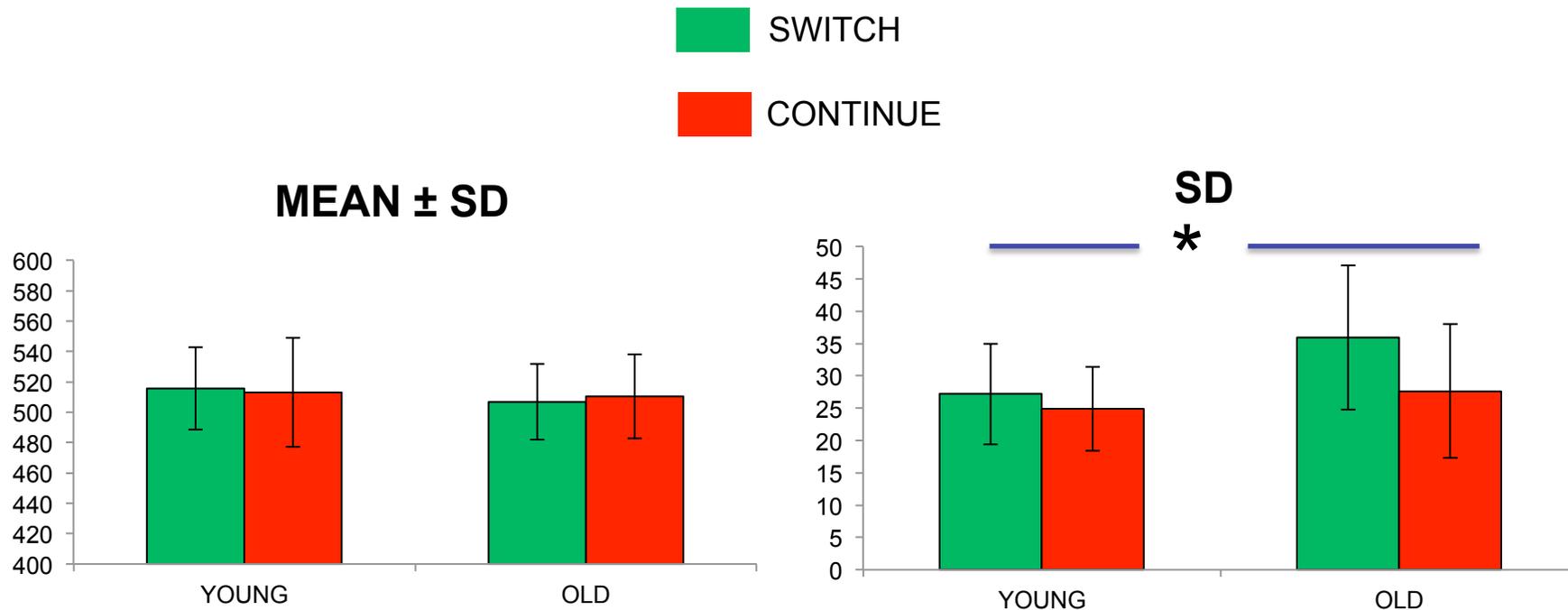
Thèse E. Sallard (ISSUL) « L'inhibition motrice sélective avec l'âge »



17 young (9 males; aged 25 ± 3 years,
13 old (7 males; aged 67 ± 4 years)

Ex.4 : Transitions motrices

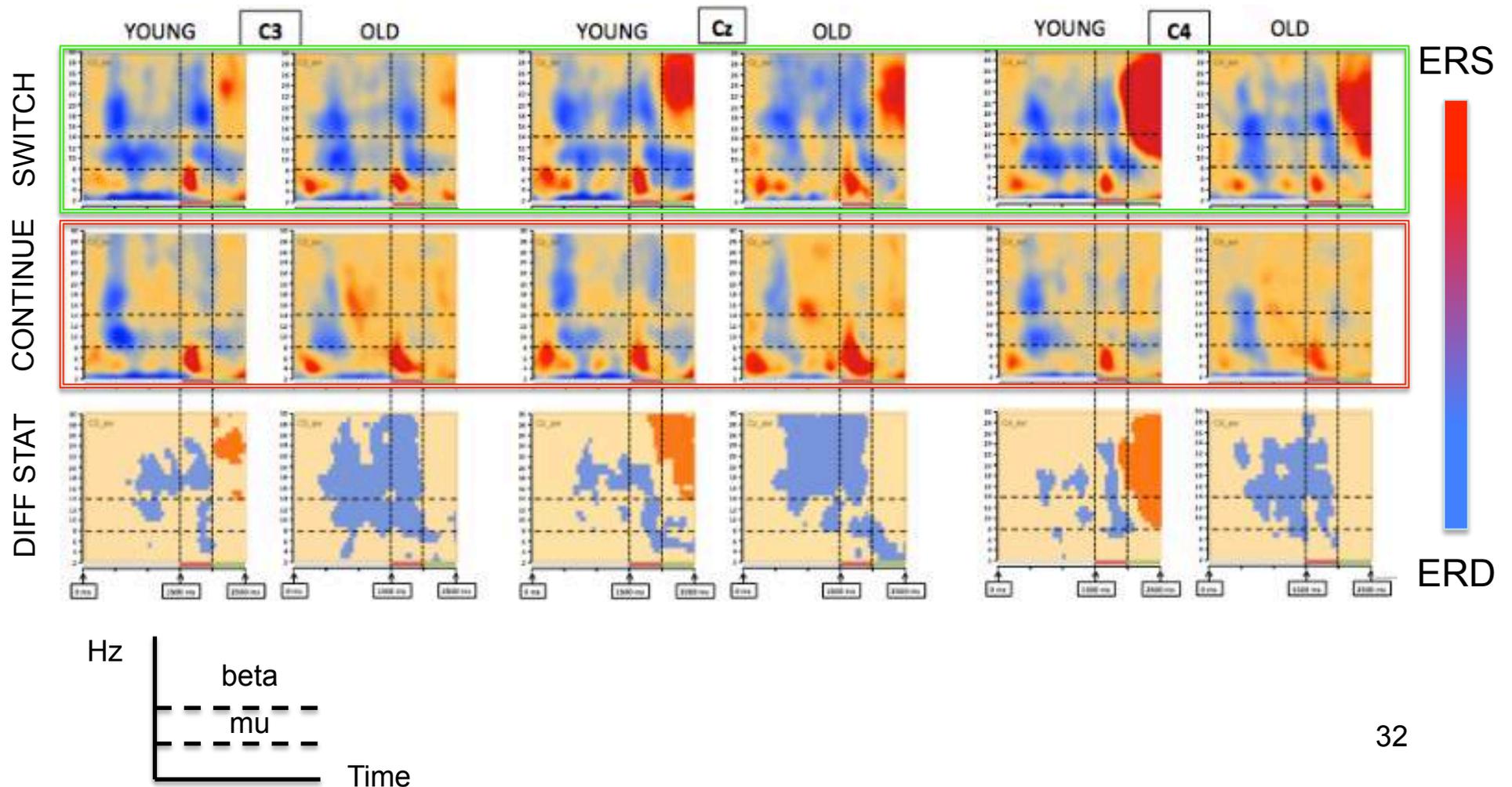
Thèse E. Sallard (ISSUL) « L'inhibition motrice sélective avec l'âge »



Ex.4 : Transitions motrices

Thèse E. Sallard (ISSUL) « L'inhibition motrice sélective avec l'âge »

Analyse temps-fréquence

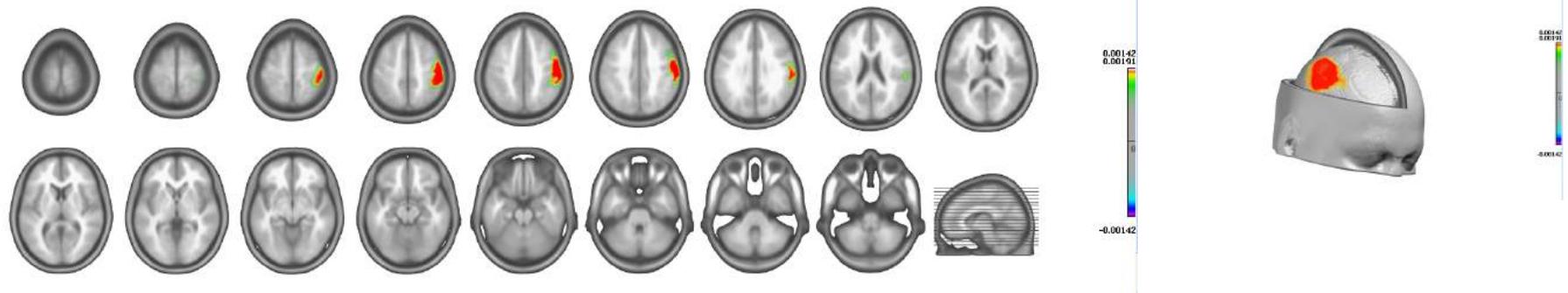


Ex.4 : Transitions motrices

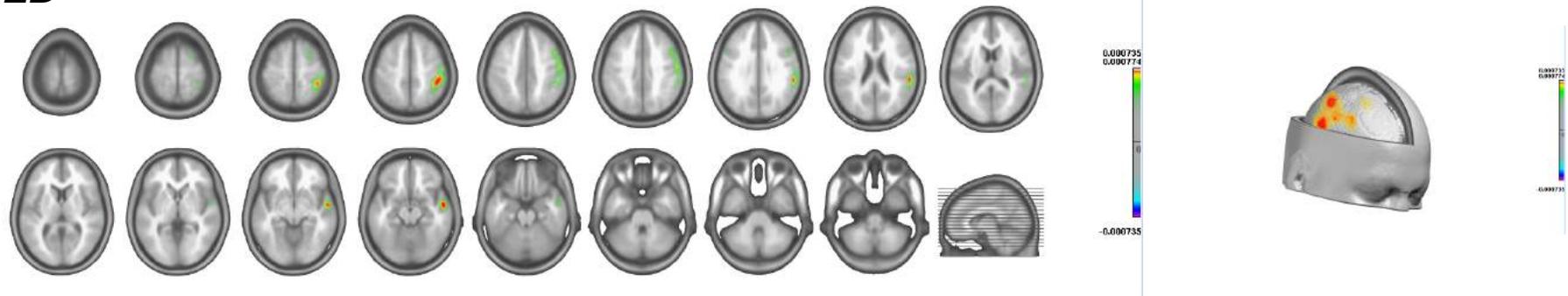
Thèse E. Sallard (ISSUL) « L'inhibition motrice sélective avec l'âge »

Localisation de source (LAURA, Grave de Peralta Menendez et al., 2001, Grave-de Peralta et al., 2004, Michel et al., 2004) – ERS beta 15-30Hz (2500ms)

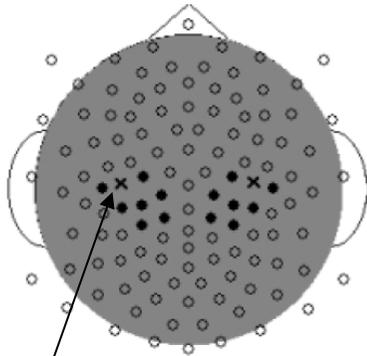
YOUNG



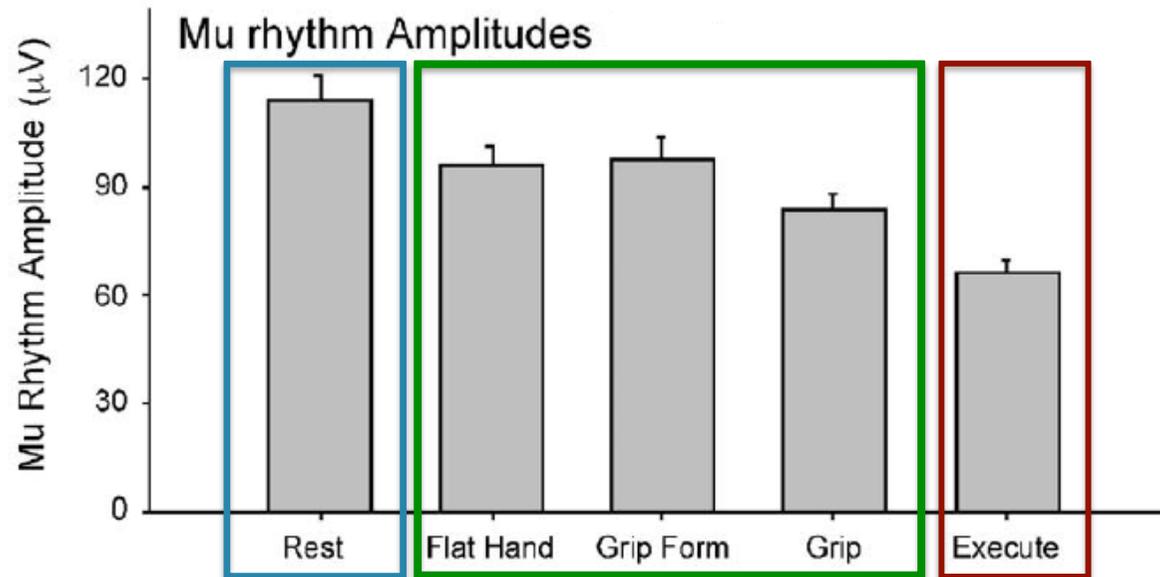
OLD



Ex 5 : Observation d'action



C3



Muthukumaraswamy et al., 2004

Ex 6 : Processus perceptifs

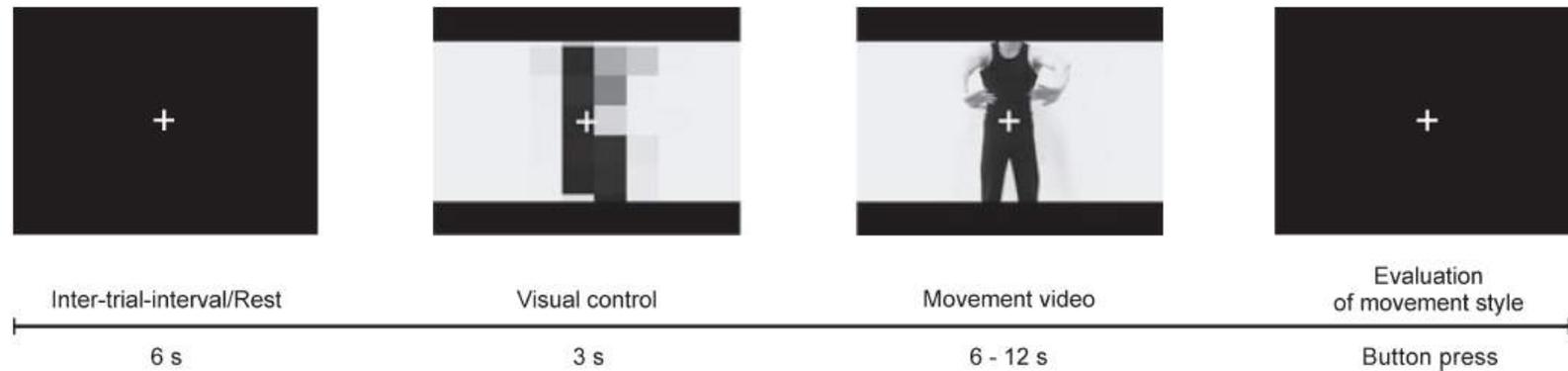
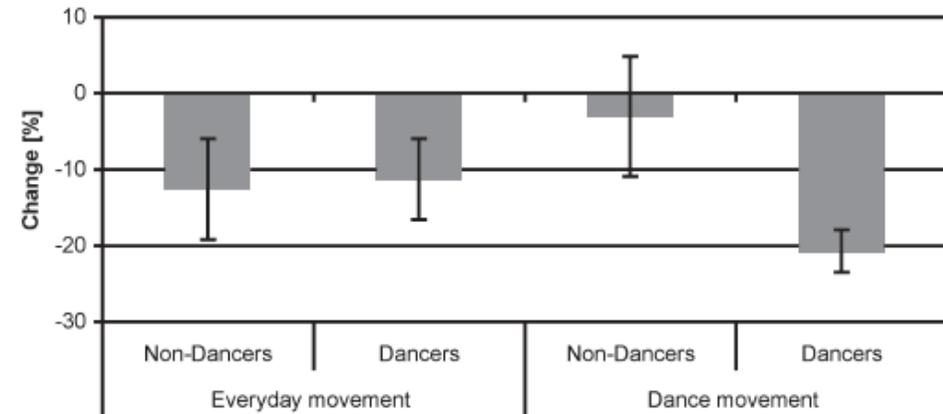
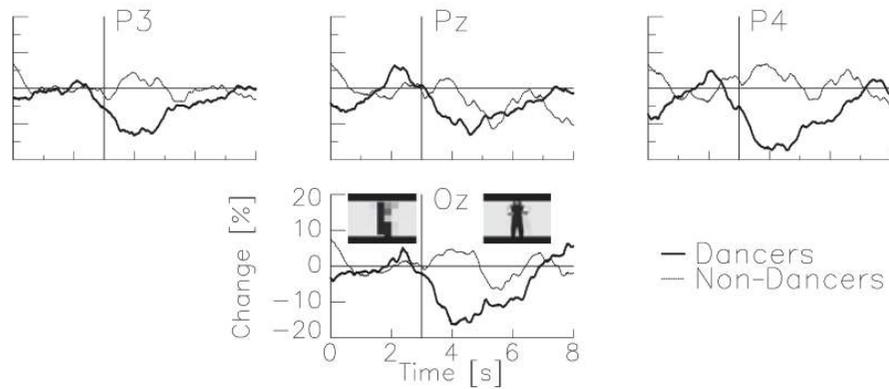


FIG. 1. A trial started with the onset of the visual control condition with a duration of 3 s followed by the movement video (6–12 s). A new trial was initiated with the button press for movement evaluation. The inter-trial interval was 6 s.



Ex. 7 : les interactions sociales

1. Visual White Noise = baseline condition;
2. Non-interacting: three individuals tossed a ball up in the air to themselves;
3. Social Action, Spectator: three individuals tossed a ball to each other;
4. Social action, Interactive: similar to video 3 except occasionally the ball would be thrown off the screen, seemingly toward the viewer, as if the viewer were part of the game.

Oberman et al., 2007

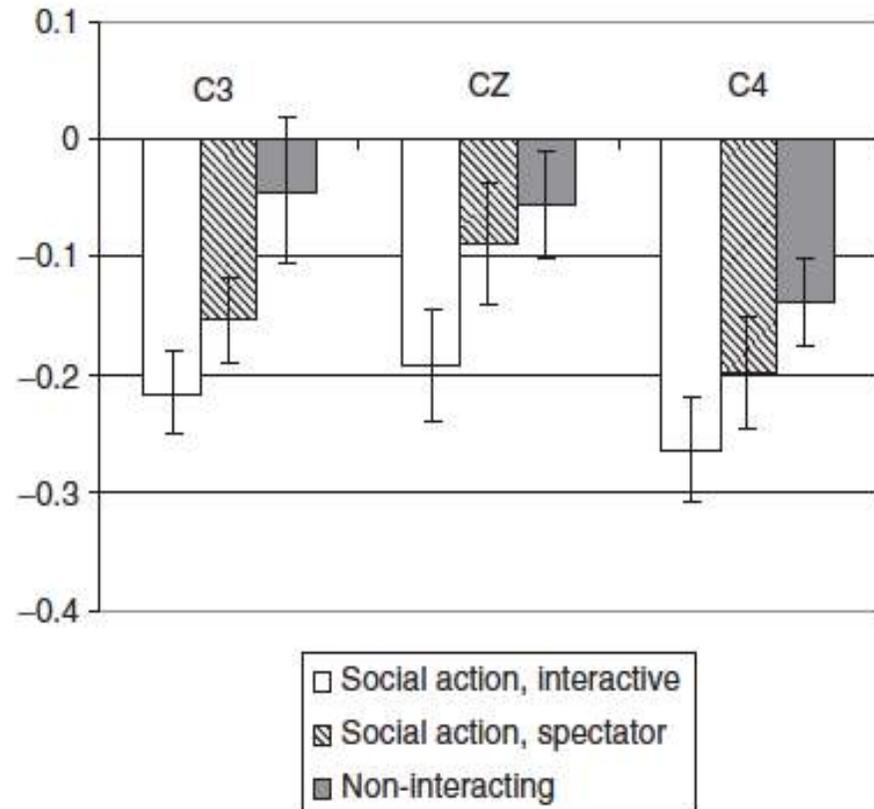
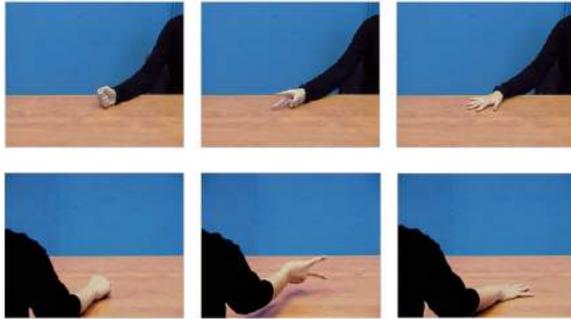
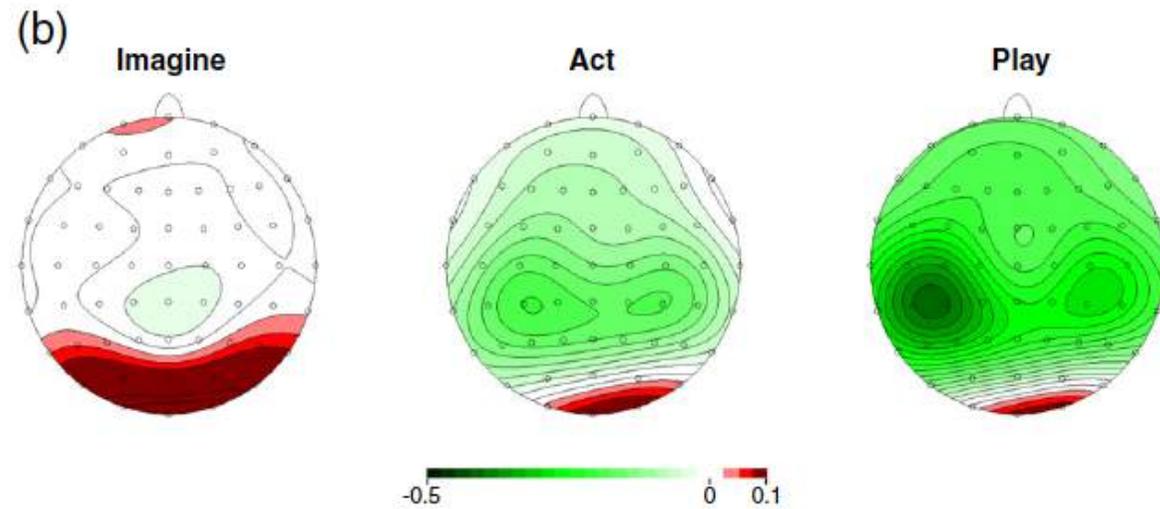
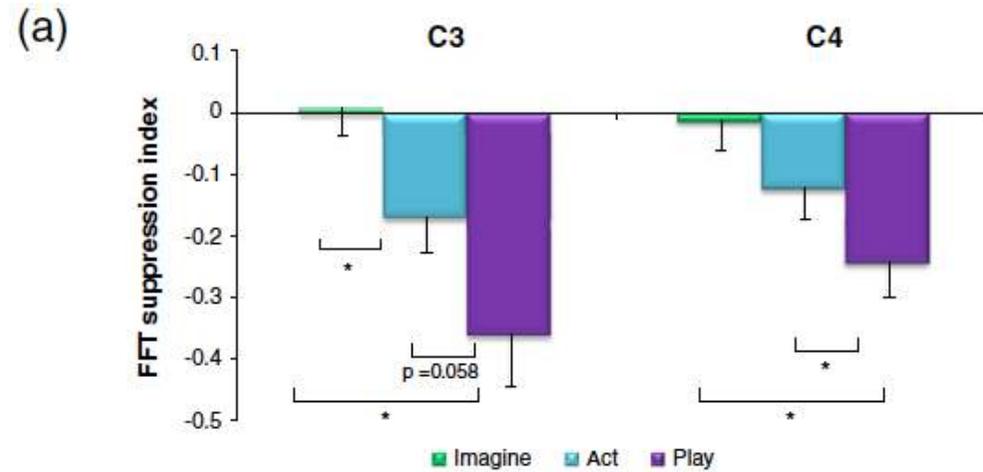


Fig. 1 Mu suppression during the observation of human action. Bars represent the mean log ratio of power in the mu frequency (8–13 Hz) during the Social Action, Interactive (white), Social Action, Spectator (gray stripe), and Non-interacting (dark gray) over the power in the baseline condition for scalp locations C3, Cz and C4. Error bars represent the standard error of the mean. For all values, a mean log ratio less than zero indicates mu suppression.

Ex. 8 : Rock–Scissors–Paper game



Perry et al., 2011



Conclusion

- Lié à un événement cognitif ou moteur, une diminution de l'amplitude des rythmes EEG (alpha, beta, mu) révèlent une activation cérébrale
- Une augmentation (synchronisation; ERS) révèle une 'inhibition active' des régions corticales
- Ces modulations de puissance sont affectées par différents facteurs (l'âge, la difficulté de la tâche, le contexte, l'expertise, ...)
- Outil non-invasif et facile d'utilisation pour les études en neuroimagerie

Merci pour votre attention