

# Apprentissages et nouvelles technologies en neuropsychologie.

7<sup>ème</sup> rencontre chercheurs-praticiens en neuropsychologie

---

12 mars 2021

Université de LILLE - PPNSA - SCALab - CNRS

Titre :

De la physiopathologie supposée aux contraintes techniques, quelle place donner au NEUROFEEDBACK dans la prise en charge des troubles de l'apprentissage ?

Orateur : Dr LAUBENHEIMER Laurent, algologue

Résumé :

Les techniques de Biofeedback et Neurofeedback ont pour objectif d'apprendre à moduler des paramètres physiologiques peu ou pas conscientisés. Par rétroaction biologique, le sujet peut ainsi modifier son activité cérébrale pour mieux réguler ses émotions, son attention. Il utilise ensuite sans capteurs ses nouvelles habiletés dans la vie quotidienne (transfert).

L'aspect très high-tech du Neurofeedback laisse penser que les effets cliniques observés ne sont sous tendus que par un "super effet placebo". A ce jour, des études randomisées avec groupe contrôle et meta-analyses autorisent à penser qu'il existe un effet spécifique du Neurofeedback. Les effets cliniques constatés (dans le TDAH p.e) sont alors la somme d'effets non spécifiques (placebo) et d'effets spécifiques (la rétroaction) comme dans toutes les approches thérapeutiques.

Après un bref historique et une présentation des écrans de rétroactions, nous aborderons les contraintes techniques importantes à connaître (artéfacts musculaires, artéfacts de volume diffusion).

Autour de trois mots clés (attention, mémoire et émotions), les mécanismes neurophysiologiques supposés du Neurofeedback seront présentés et illustrés par des études cliniques disponibles dans le vaste champs des troubles de l'apprentissages.

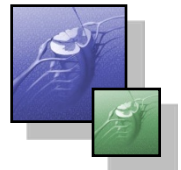
Enfin, des propositions d'intégration des techniques de Biofeedback/Neurofeedback au sein de la consultation du psychologue seront exposées.

# De la physiopathologie supposée aux contraintes techniques, quelle place donner au NEUROFEEDBACK dans la prise en charge des troubles de l'apprentissage ?

7<sup>ème</sup> rencontre chercheurs-praticiens en neuropsychologie

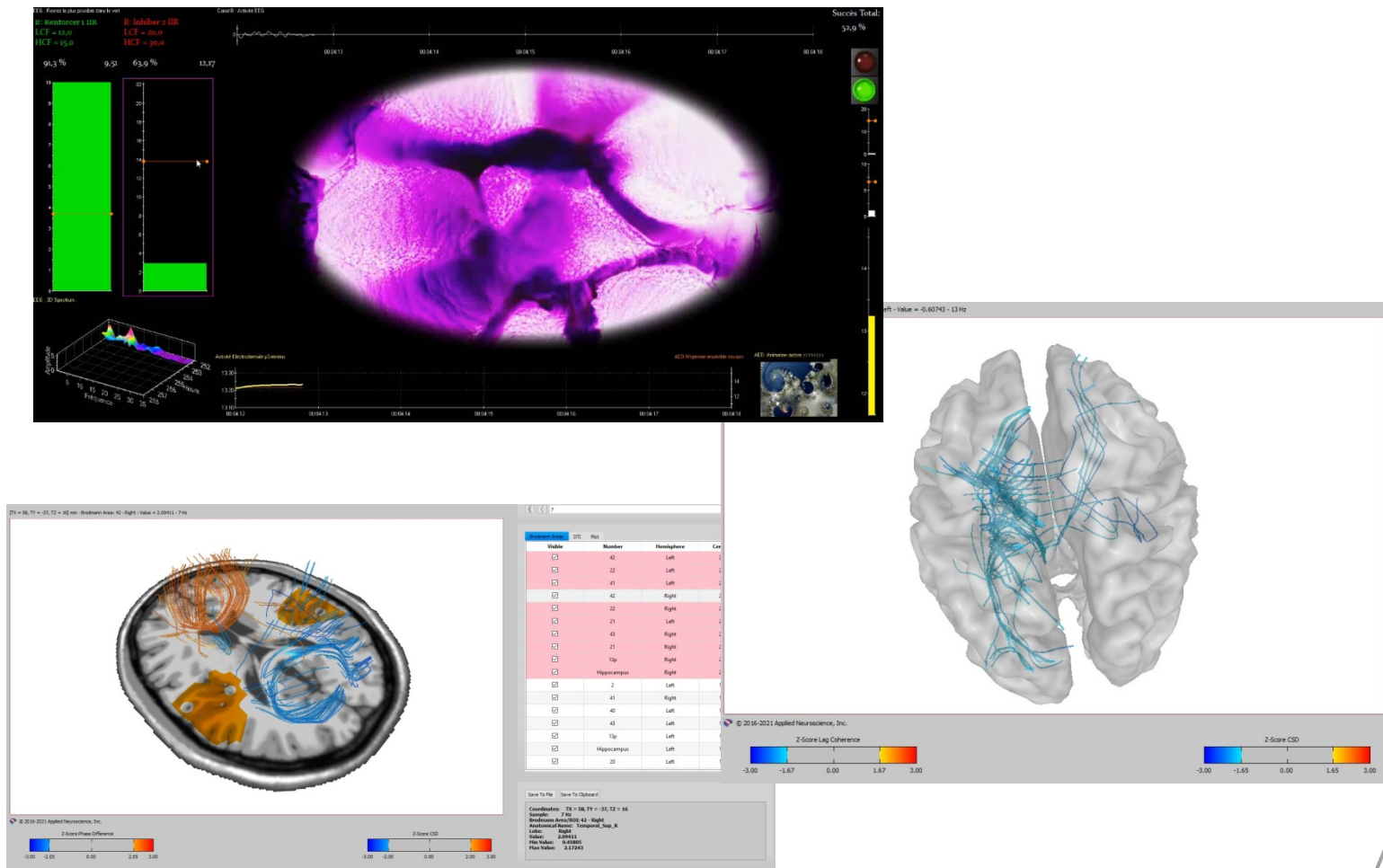
**Vendredi 12 Mars 2021**

**\Laurent LAUBENHEIMER**  
**Algologue**



# Déclaration conflit d'intérêts

- Aucun conflit d'intérêts





# Biofeedback : principe

- Les techniques de biofeedback ont pour objectif de moduler des paramètres physiologiques généralement **peu ou pas conscientisés**.
- Grâce à la mesure retournée **en temps réel** par des capteurs périphériques, le sujet apprend, à réduire des tensions musculaires, ou moduler son activité cérébrale.
- Il s'aide des retours (**feedback**) de l'**ordinateur** pour développer des aptitudes à réguler émotions, concentration, tonus musculaire etc...

# Biofeedback : principe

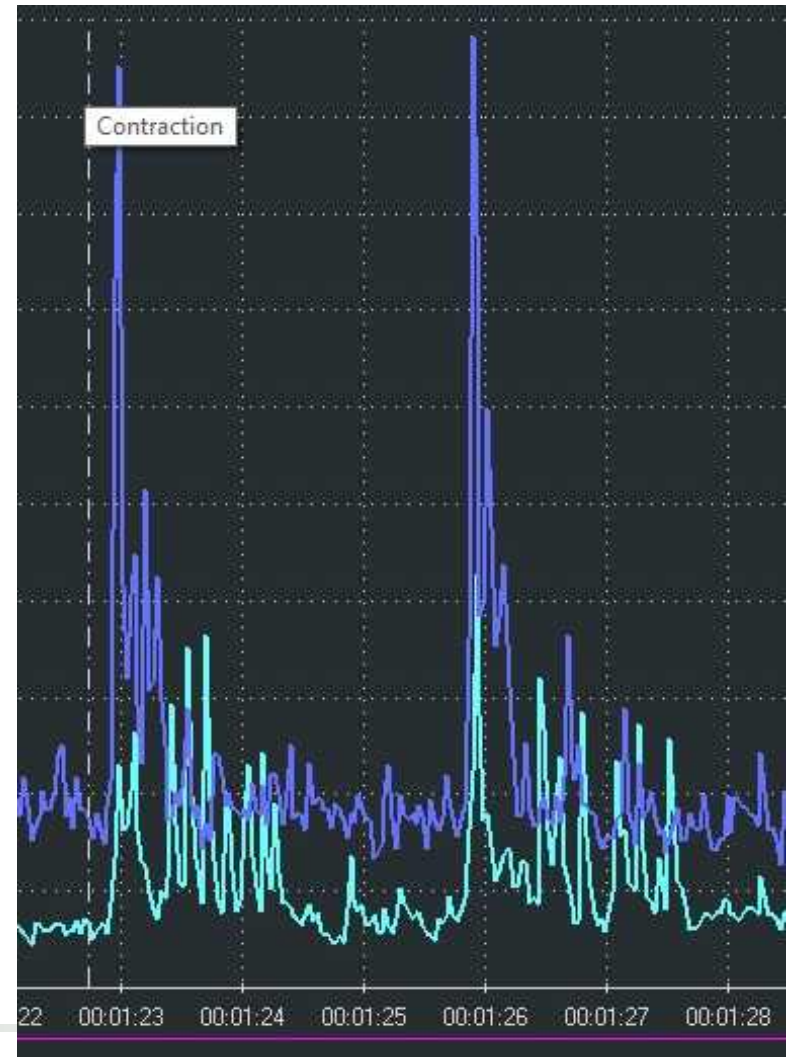
- Après quelques séances d'entraînement, il reproduira ces nouvelles habiletés dans le contexte voulu, **dans la vie quotidienne**, de manière autonome **sans capteurs**.
- Analogie du vélo pour expliquer simplement le principe du bio et neurofeedback.
  - Apprentissage non conscientisé et difficile à détailler oralement.



"Biofeedback is a process that enables an individual to learn how to change physiological activity for the purposes of improving health and performance. Precise instruments measure physiological activity such as brainwaves, heart function, breathing, muscle activity, and skin temperature. These instruments rapidly and accurately "feed back" information to the user. The presentation of this information , often in conjunction with changes in thinking, emotions, and behavior, supports desired physiological changes. Over time, these changes can endure without continued use of an instrument." *Approved May 18, 2008 by: Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback (AAPB) ; Biofeedback Certification International Alliance (BCIA) ; International Society for Neurofeedback and Research (ISNR) [www.aapb.org](http://www.aapb.org)*

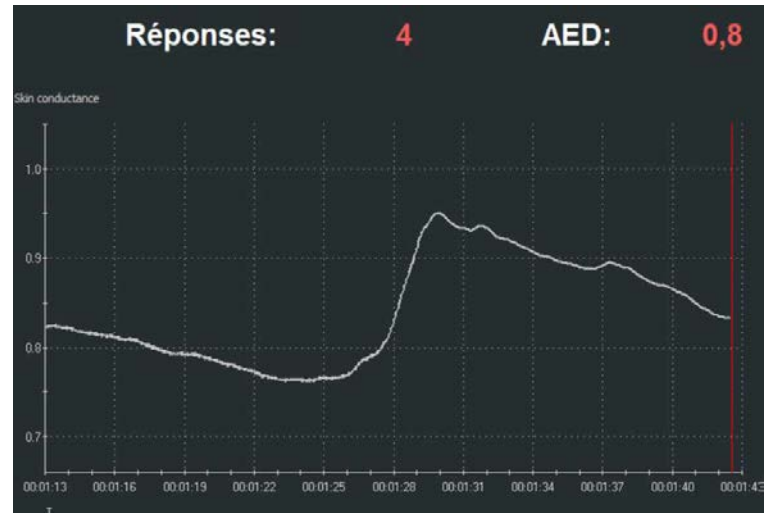
# Biofeedback (BFB) : différentes modalités

- EMG : BFB électromyographique.
  - Tonus musculaire.

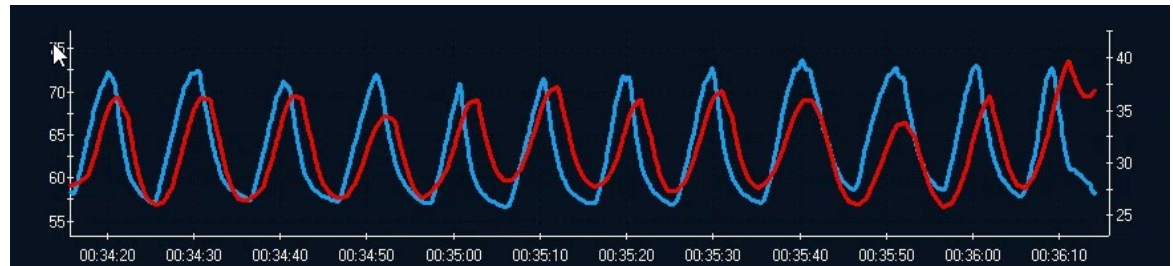


# Biofeedback (BFB) : différentes modalités

- AED : BFB électrodermal. Tonus sympathique.



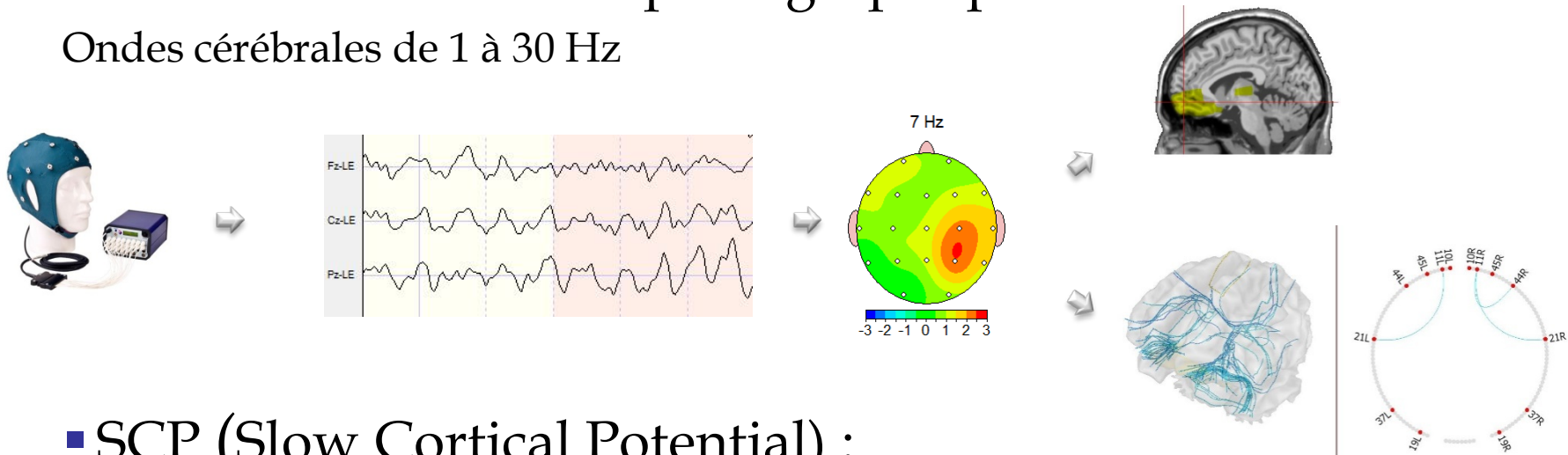
- BVP : BFB de variabilité cardiaque. Tonus parasympathique



# Neurofeedback (NFB) : modalités

- EEG : BFB électroencéphalographique.

Ondes cérébrales de 1 à 30 Hz

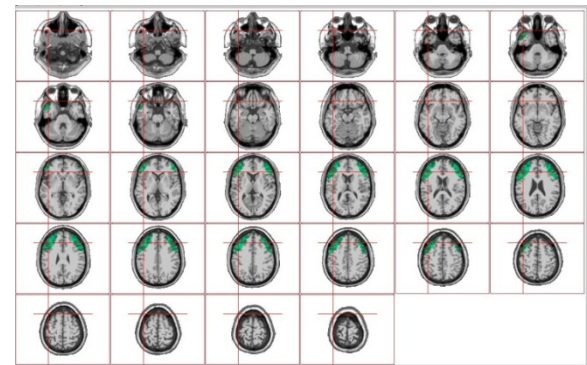


- SCP (Slow Cortical Potential) :

Potentiels Corticaux Lents < 1Hz

- IRMf : NFB IRM fonctionnelle.

- EEG-IRMf combinés.





# Biofeedback (BFB) : ex. encodeur



NASA Commander Dave Williams

# Neurofeedback : une découverte fortuite...

## 1. Dr Barry Sterman

Etude EEG pendant sommeil chez le chat.

**Découverte rythme EEG** particulier (12-15Hz) apparaissant par salves sur le cortex sensori-moteur et associé à une réduction du tonus musculaire.

## Entraînement à production du rythme SMR

Par électrode implantée et conditionnement opérant (récompenses) sur 10 chats.

Rythme SMR Humain & primates

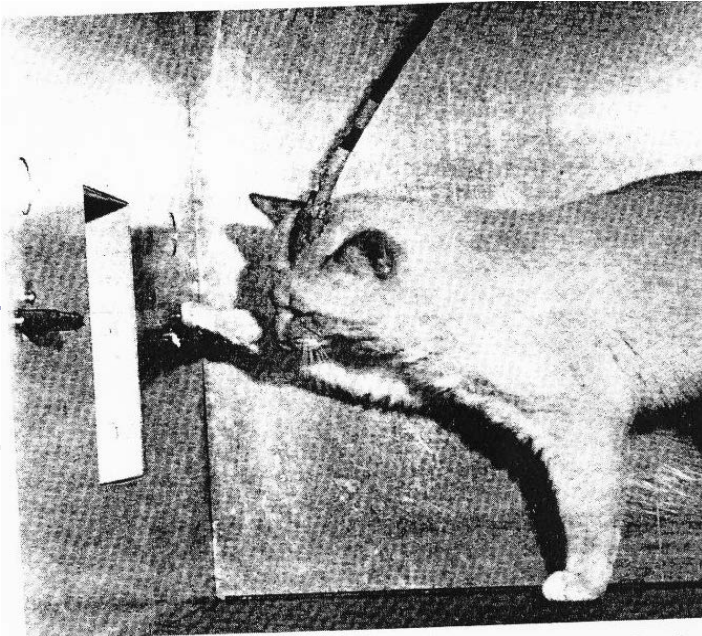
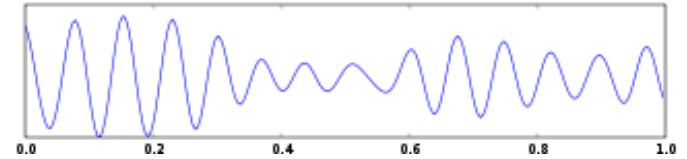


FIGURE 1. This animal is shown in the experimental test situation learned alimentary responses used in the study of EEG correlates rep

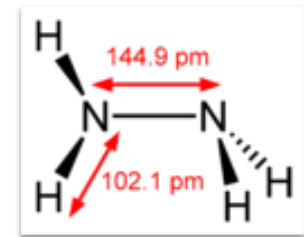


## 2. NASA

Confrontée à la toxicité d'un comburant pour propulseur de fusées = HYDRAZINE

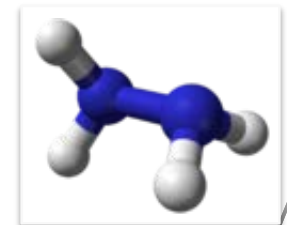
**Evaluer seuil toxicité pour astronautes.**  
nausées, hallucination, crise d'épilepsie,

- **Étude toxicité de l'hydrazine** (Serman, in Brain Research, 1967)
  - 50 chats **dont 10** ayant auparavant participé à l'expérience d'accroissement du rythme SMR (sensorimotor rhythm) .
  - Injection d'hydrazine 100mg/kg.



## ■ Résultats :

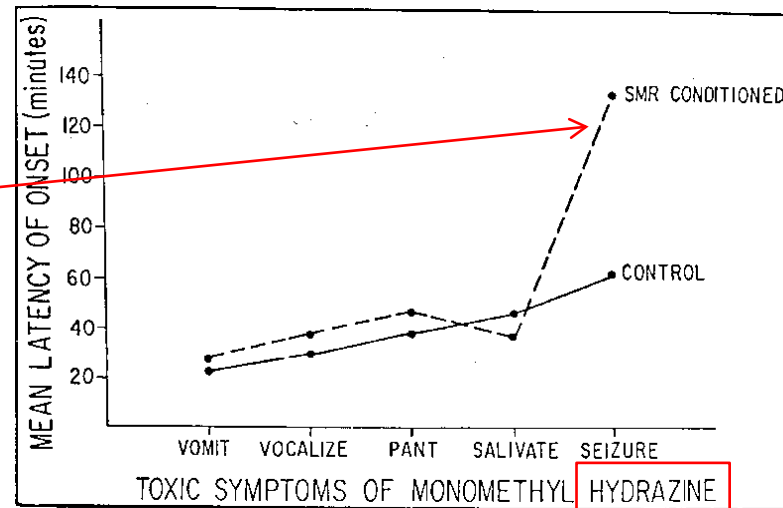
- Élévation inattendue du seuil épileptique chez 10 chats.
- Délai d'apparition des convulsions doublé chez les chats entraînés à production du rythme SMR comparé au groupe de chats contrôle.



## ■ Résultats :

- Résultats non imputables à un effet placebo :
- ni les chats, ni le chercheur ne s'attendaient à de tels résultats.

Délai d'apparition des convulsions à 2 heures comparé à 1 heure dans le groupe des chats non entraînés à production du rythme SMR.



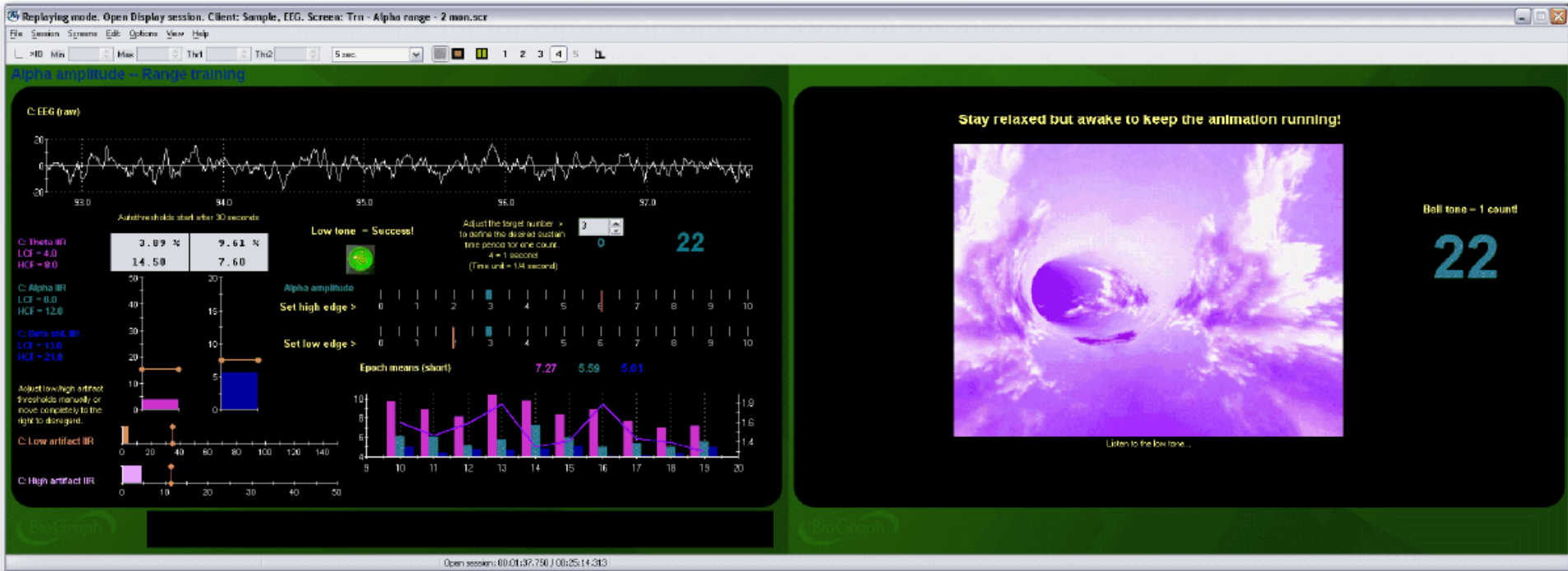
## Hypothèse émise par Sterman :

L'entraînement à la production du rythme SMR (12 à 15 Hz) élève le seuil de déclenchement des convulsions.



# BFB : ex. écrans de rétroaction



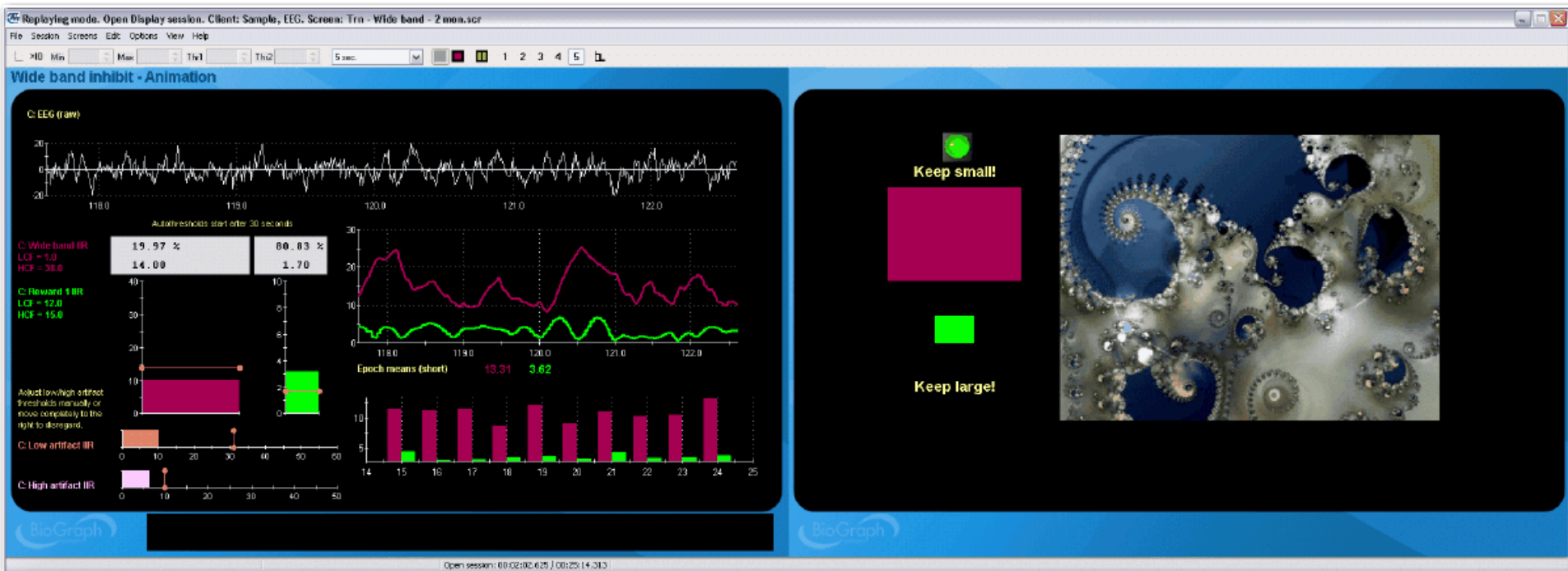


Stay relaxed but awake to keep the animation running!

Ball tone - 1 count

22

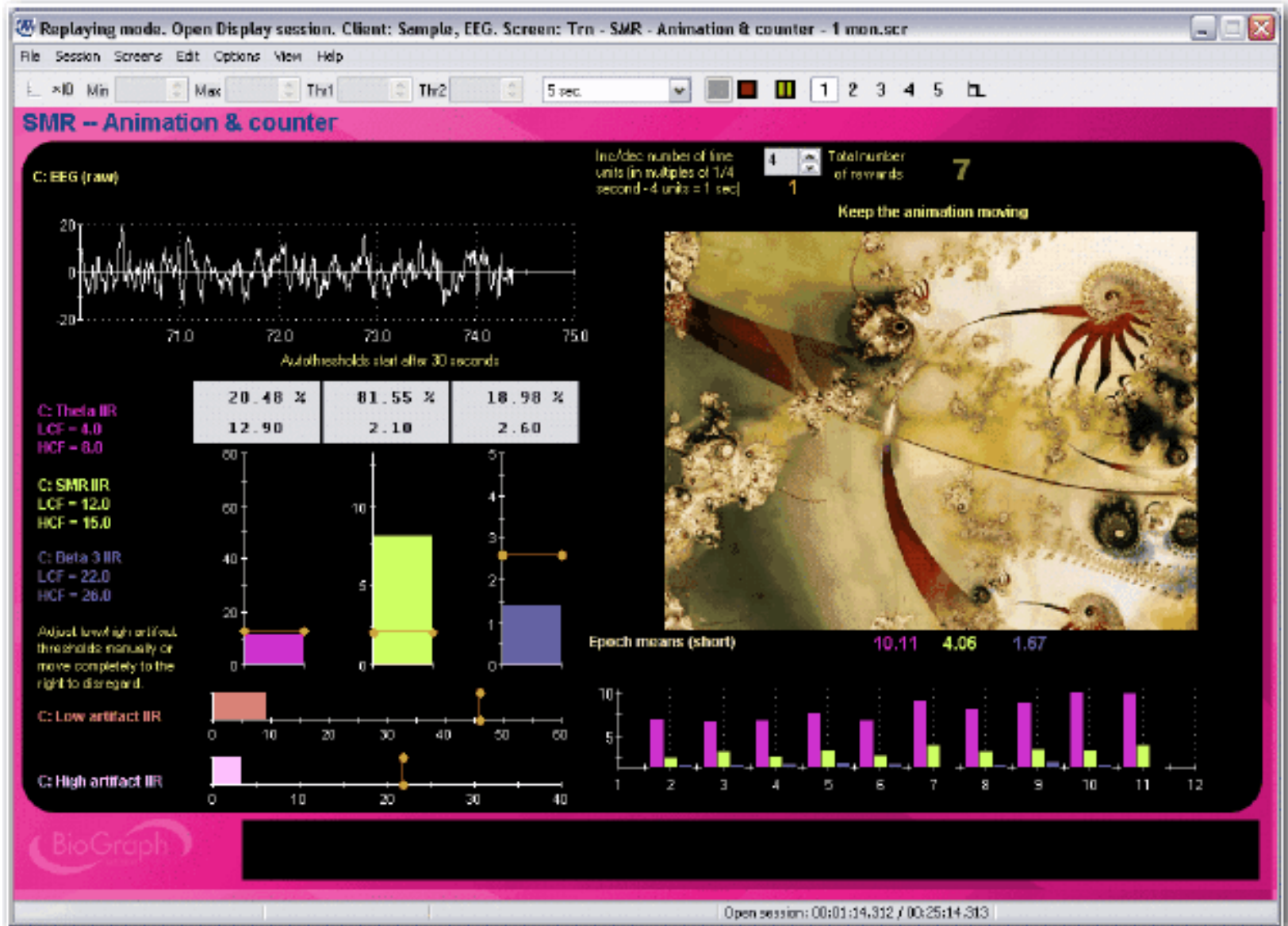
Listen to the low tone...



Keep small!

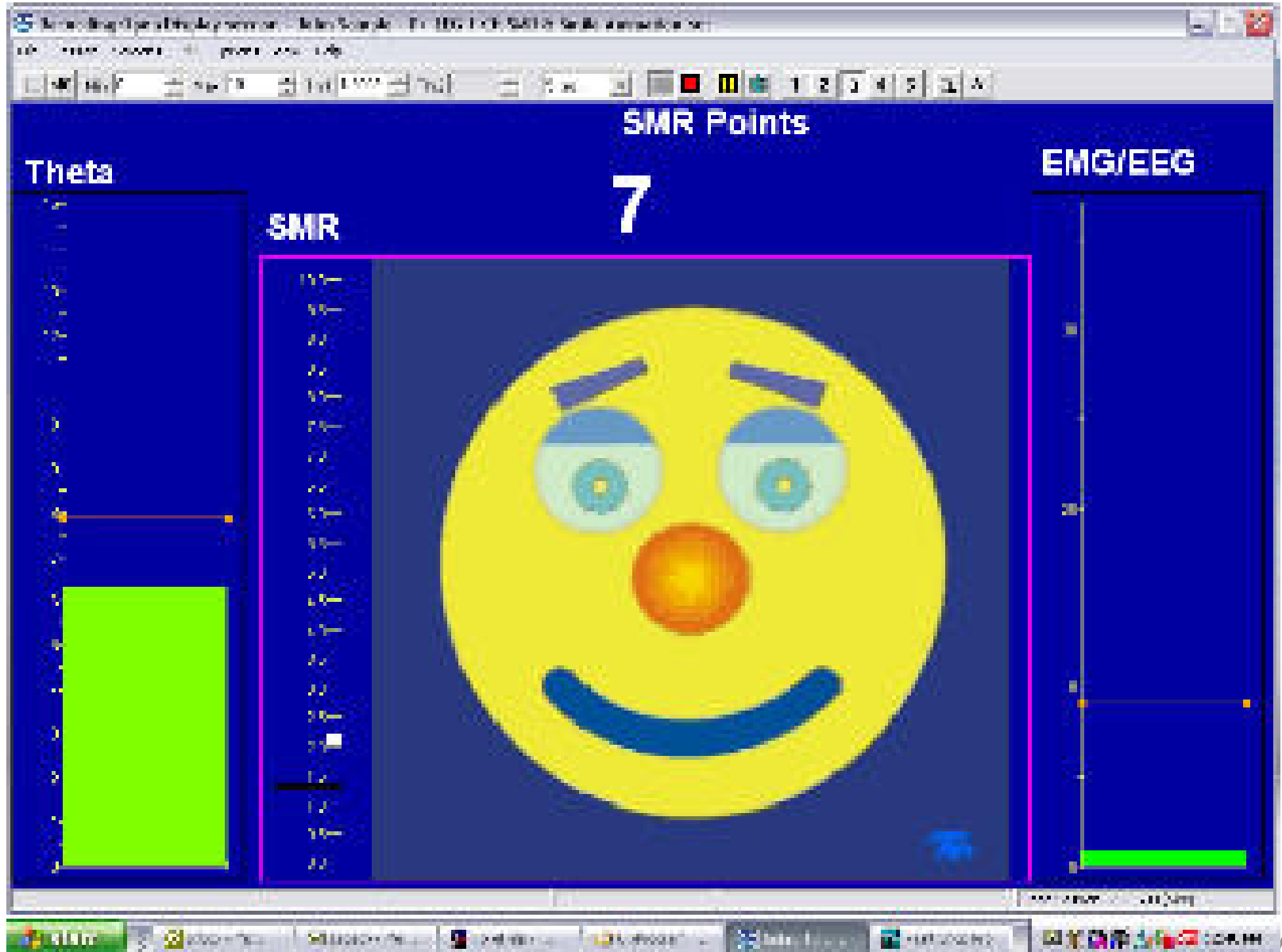
Keep large!

# BFB : ex. écrans de rétroaction



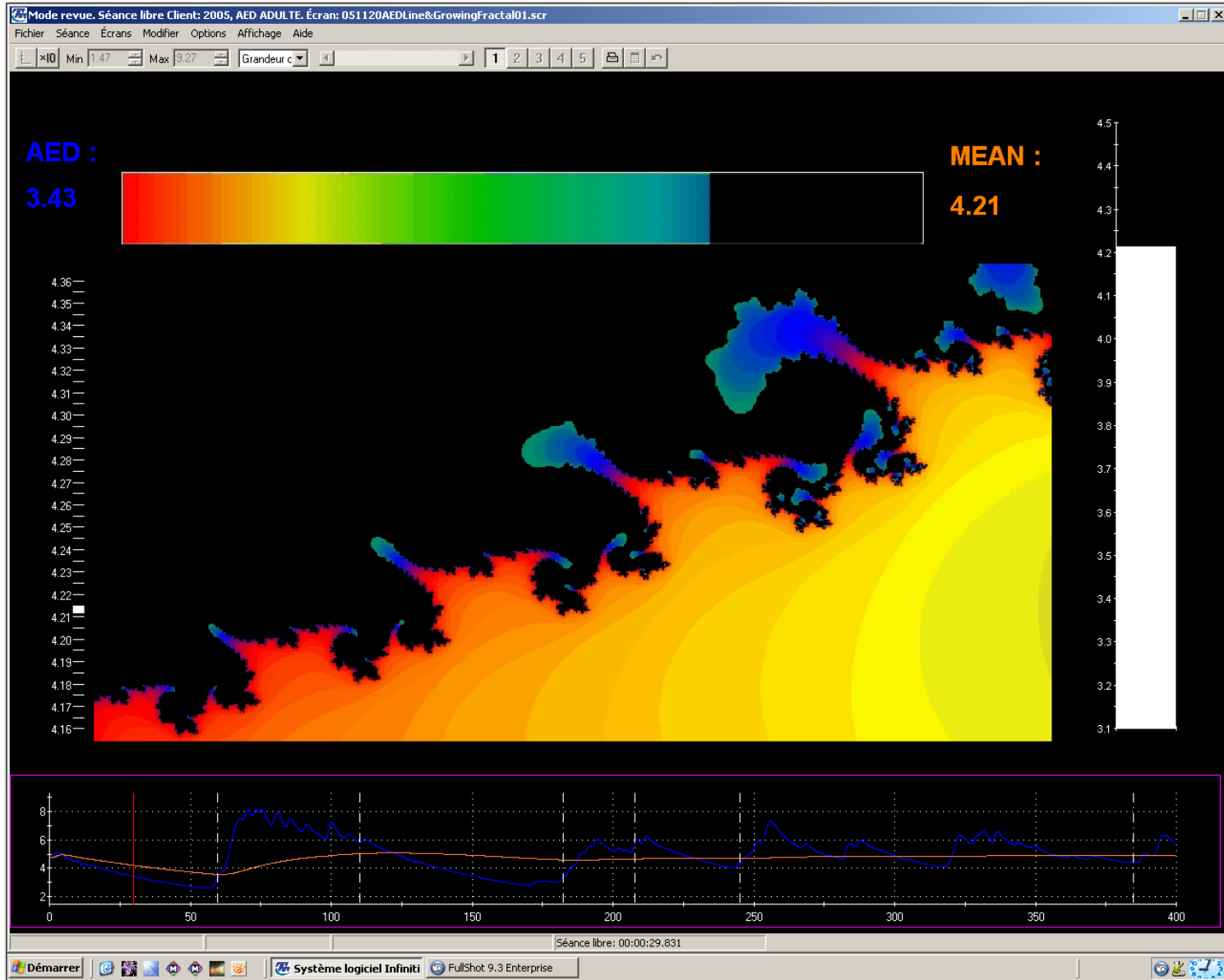


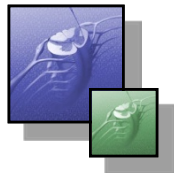
# BFB : ex. écrans de rétroaction



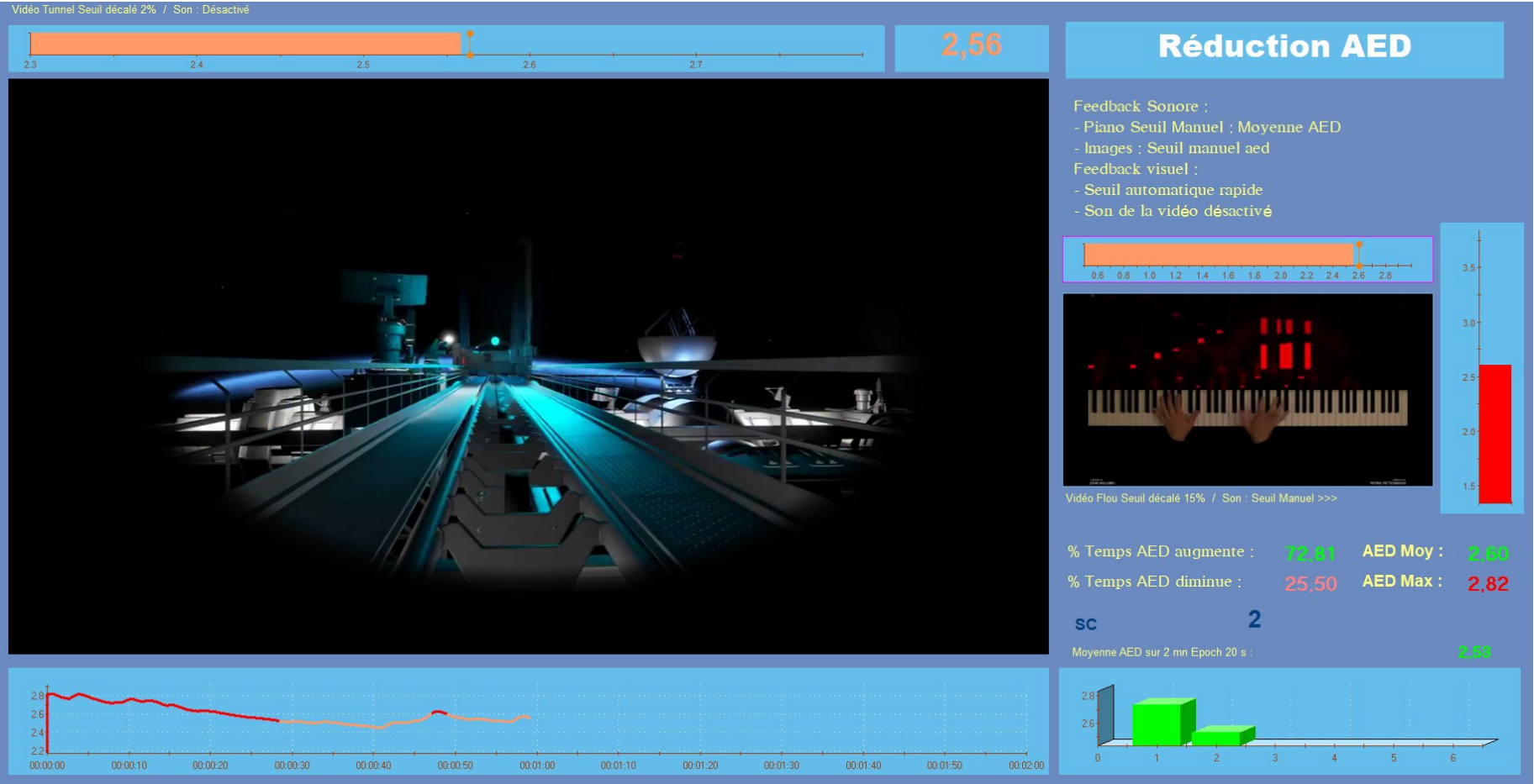


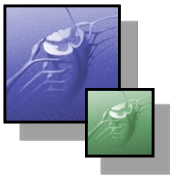
# BFB : ex. écrans de rétroaction



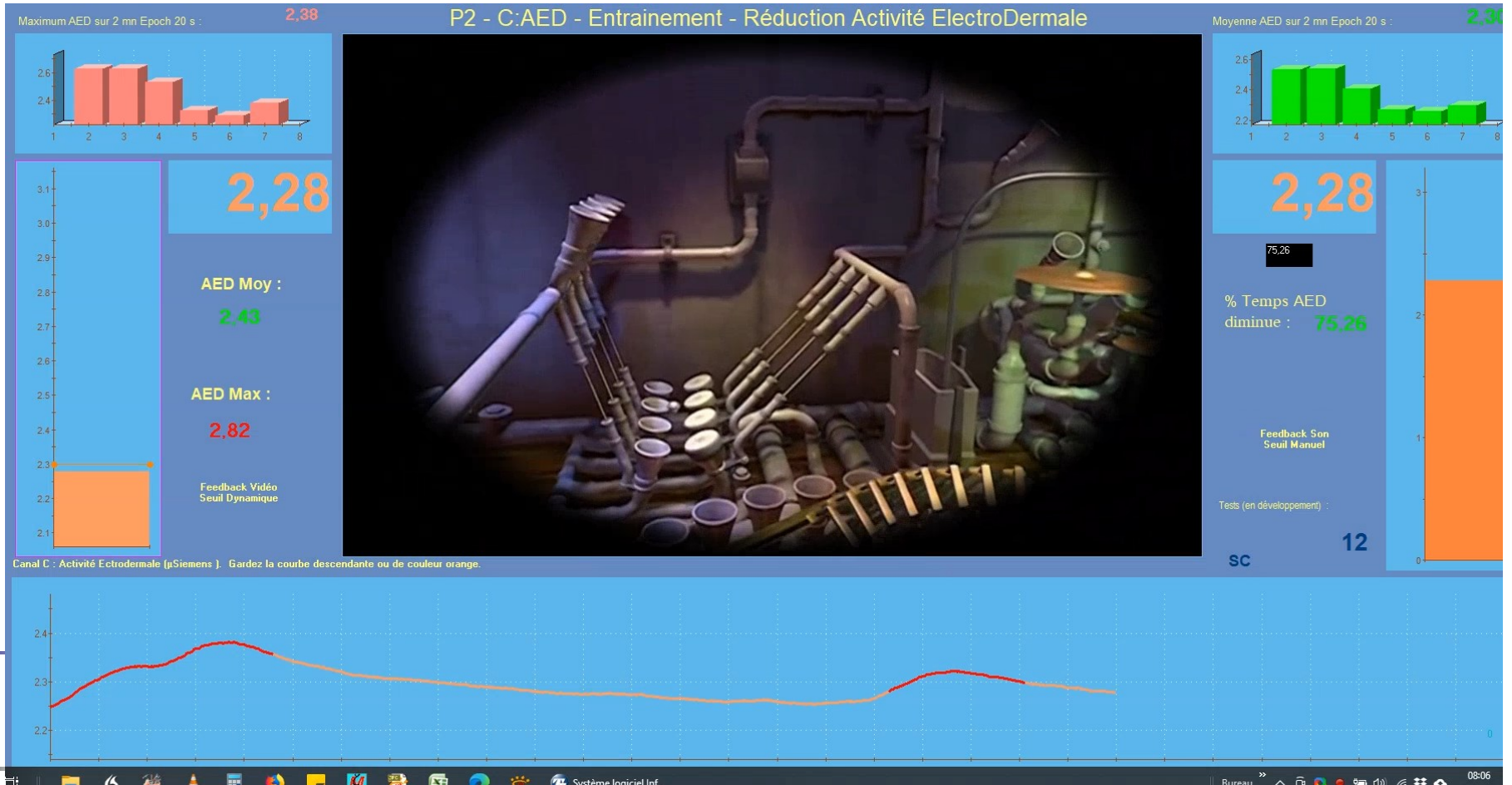


# BFB : ex. écrans de rétroaction



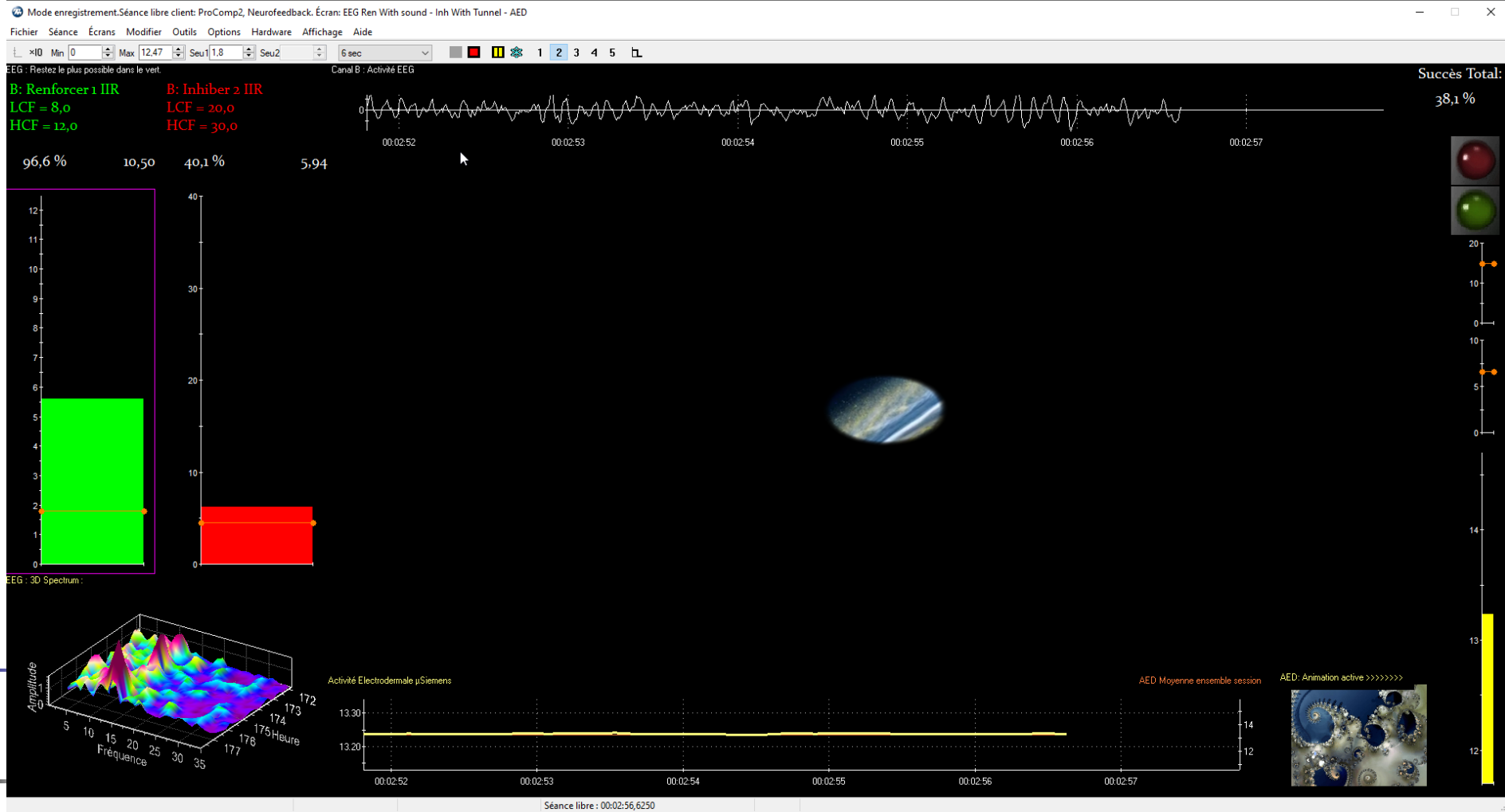


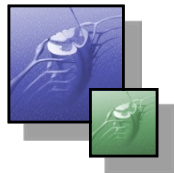
# BFB : ex. écrans de rétroaction



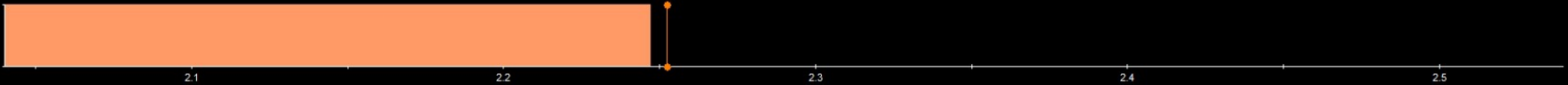
Crédit vidéo : **[ANIMUSIC]**

# BFB : ex. écrans de rétroaction



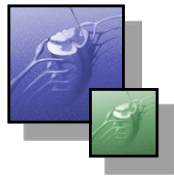


# BFB : ex. écrans de rétroaction



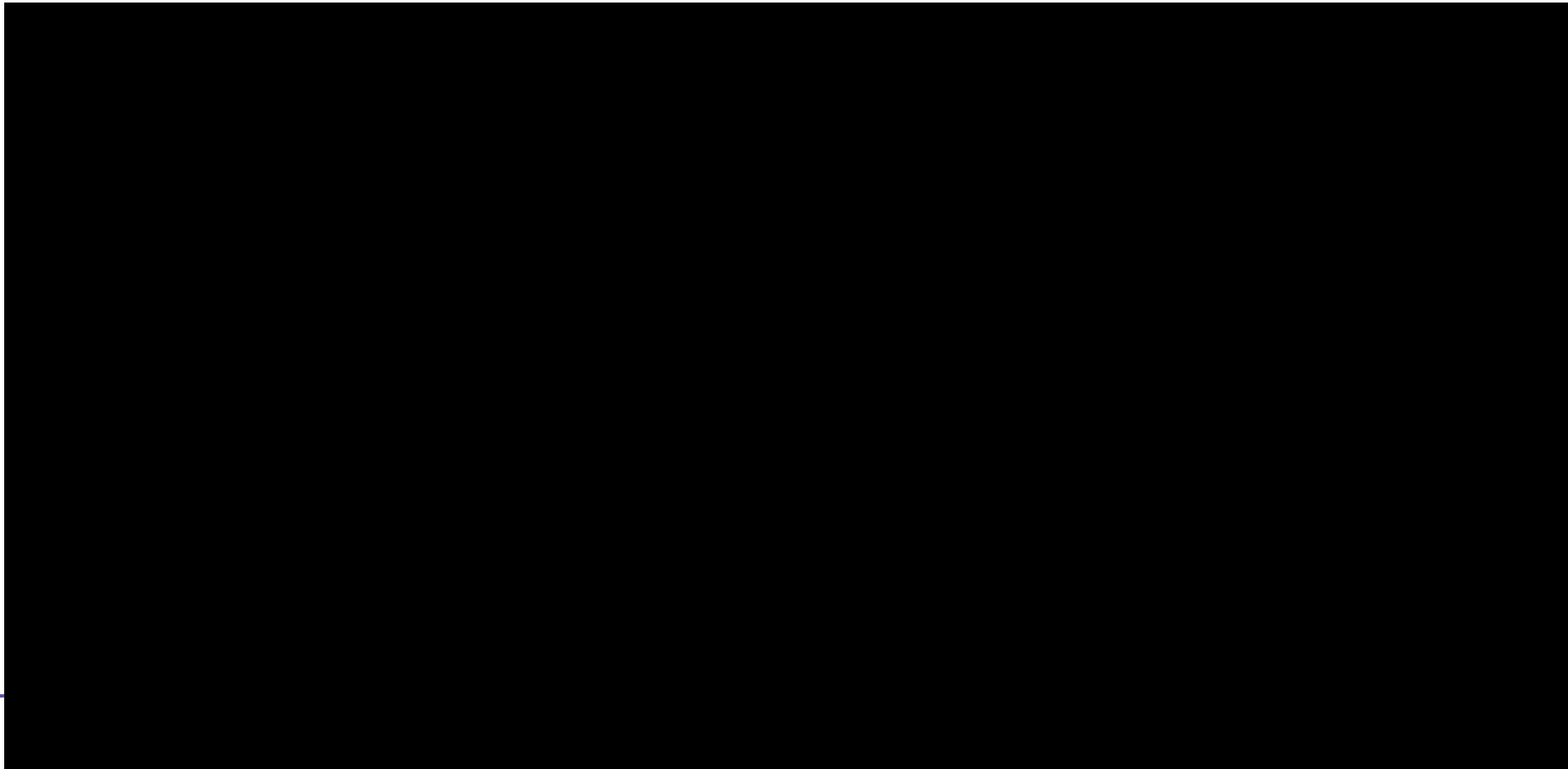
Crédit vidéo : Johnny FPV x Beautiful Destinations - Turkey

Exemple écran plus minimaliste pour transfert dans vie quotidienne sans capteurs.



# Exemple écran Neurofeedback : vidéo

---



Crédit vidéo : **Shaggy FPV**. 6 Minutes Of Mountain Surfing in Norway | FPV Cinematics

## Objectifs :

Renforcer Ondes EEG béta : 12 à 15Hz.

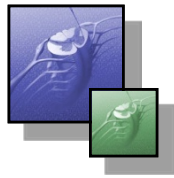
Inhiber Ondes EEG High Béta : 20 à 30Hz



## Renforcements positifs :

La musique au volume optimal.

Le tunnel de vision s'élargit.



# NFB et Evidence Based Medecine

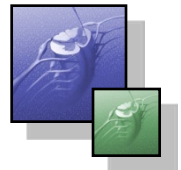
---

- Aspect très « high tech » des écrans des capteurs !
- NFB : simple effet placebo puissant ?
- NFB : Effet thérapeutique propre ?
  - Intérêt des études avec un groupe de patients « contrôle » ou en double aveugle.
  - Placebo de Biofeedback (Sham biofeedback).
    - Même contexte (ordinateur, écrans, capteurs)
    - Mais le signal affiché au sujet n'est pas relié aux mesures physiologiques.
  - Intérêt des méta analyses
    - Permet de réduire l'impact des biais méthodologiques dans le résultat final.

# Le Neurofeedback dans les troubles de l'apprentissage



Quelle assise  
neurobiologique au  
Neurofeedback ?

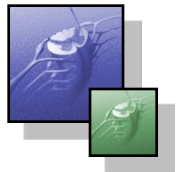




# Le Neurofeedback dans les troubles de l'apprentissage

Preuves de la capacité à moduler sa  
propre activité cérébrale ?

- 1) Par IRM fonctionnelle temps réel
- 2) Par mesure de l'EEG temps réel

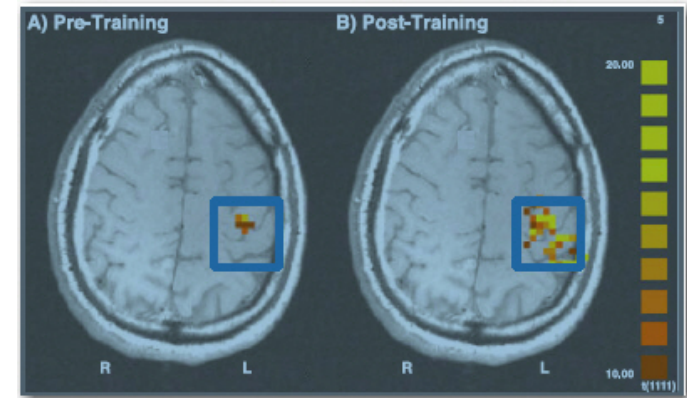


# NFB: assises neurobiologiques

## Modulation intentionnelle de l'activité d'une zone corticale

### Paradigme de Christopher deCharms 2003 :

- **Objectif :**
  - Augmenter l'activité d'une zone du cortex moteur sans engendrer de contraction musculaire (imaginer un mouvement de la main) en s'aidant des données retournées par le biofeedback.
- **Méthode :**
  - Mesure temps réel de l'activité BOLD (IRMf) du cortex moteur.
  - Mesure de l'activité EMG de la main :
    - vérifier absence d'augmentation du tonus
- **Résultats :**
  - Après entraînement par NFB, activité corticale augmentée, d'intensité comparable à celle retrouvée lors d'un véritable mouvement de la main. .
  - Persistance de l'aptitude à moduler la zone corticale même si arrêt du feedback.



#### Somatomotor activation before and after training.

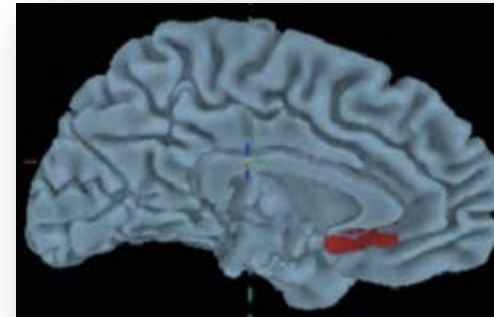
(A) BOLD activation during a right-hand imagined-action task before and (B) after training. The blue box designates the selected region of interest.

# NFB: assises neurobiologiques

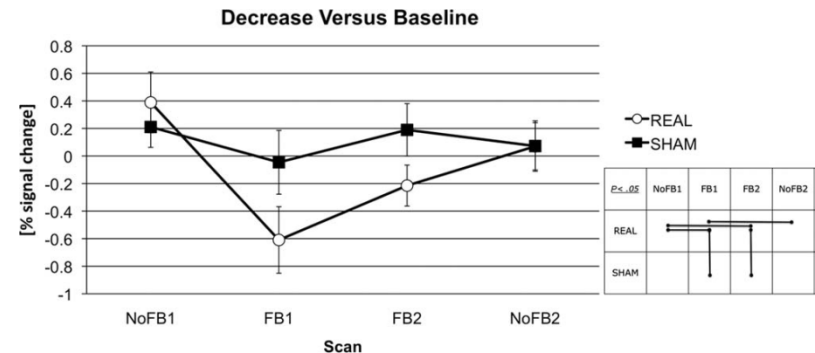
## Modulation intentionnelle de l'activité d'une zone corticale

### Paradigme de Hamilton 2011 :

- **Objectif :**
  - Moduler par rétrocontrôle l'activité de la portion subgenuale du Cortex Cingulaire Antérieur (impliqué dans états émotionnels).
- **Méthode :**
  - Mesure temps réel de l'activité IRMf du CCA chez 17 sujets volontaires.
  - Demande de modulation AVEC ou SANS feedback (Activ ou Sham BFB).
- **Résultats :**
  - L'activité du CCA a été significativement réduite dans le groupe BFB actif.
  - Le groupe contrôle (faux BFB) n'ont pas réussi à moduler l'activité du CCA.



Portion  
Subgenuale du  
Cortex Cingulaire  
Antérieur.

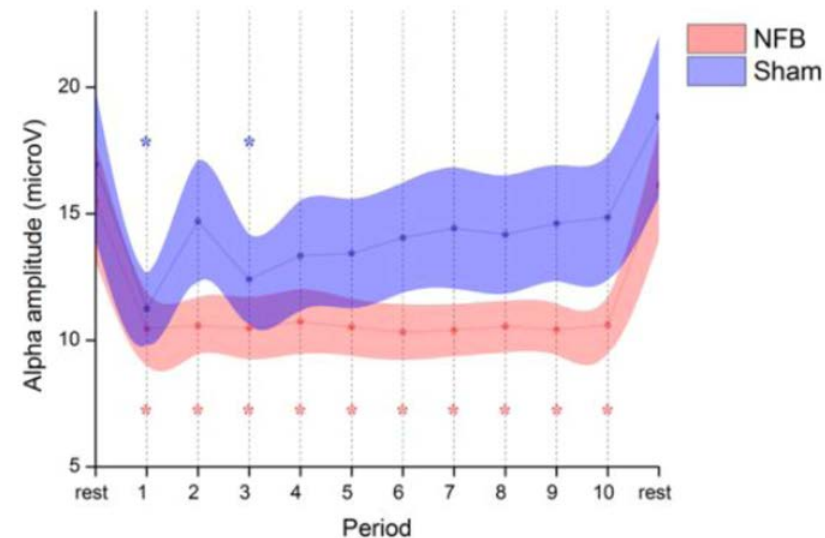


# NFB: assises neurobiologiques

## Modulation intentionnelle de l'activité EEG

### Paradigme de Ros et al. 2013 :

- **Objectif :**
  - **Réduction** intentionnelle de l'amplitude des ondes **alpha** (8-12Hz) en pariétal (Pz)
  - Observer une éventuelle **modification de la connectivité** dans les principaux réseaux neuronaux (réseau de salience ou réseau par défaut)
- **Méthode :** 34 sujets sains
  - 1 groupe : 17 sujets Vrai-NFB :  
EEG des sujets
  - 1groupe: 17sujets Sham-NFB :  
EEG MAIS d'un autre participant.
  - IRMf avant et après 30' de NFB EEG.



**Réduction de l'amplitude des ondes alpha dans le groupe NFB uniquement**

Ros et al. Mind over chatter: plastic up-regulation of the fMRI salience network directly after EEG neurofeedback Neuroimage. 2013 January 15; 65: 324-335

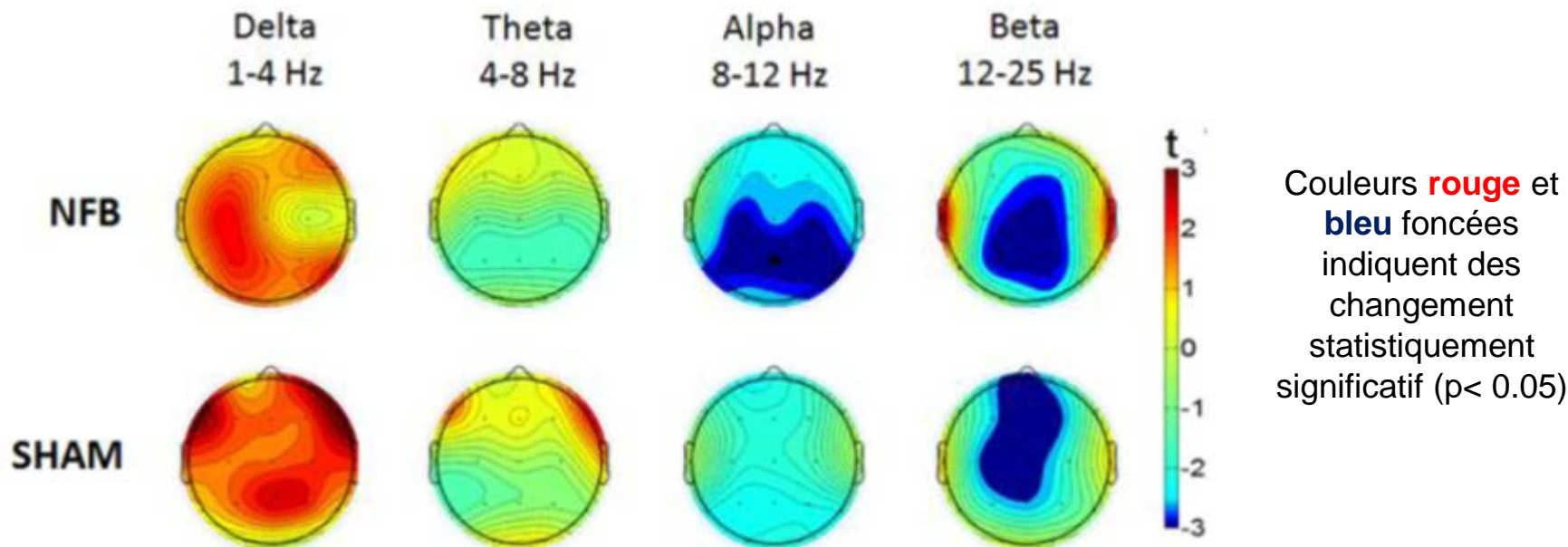
# NFB: assises neurobiologiques

## Modulation intentionnelle de l'activité EEG

Paradigme de Ros et al. 2013 :

- **Résultats :**

- Réduction de l'amplitude des ondes alpha dans le groupe NFB mais pas dans le groupe Sham.



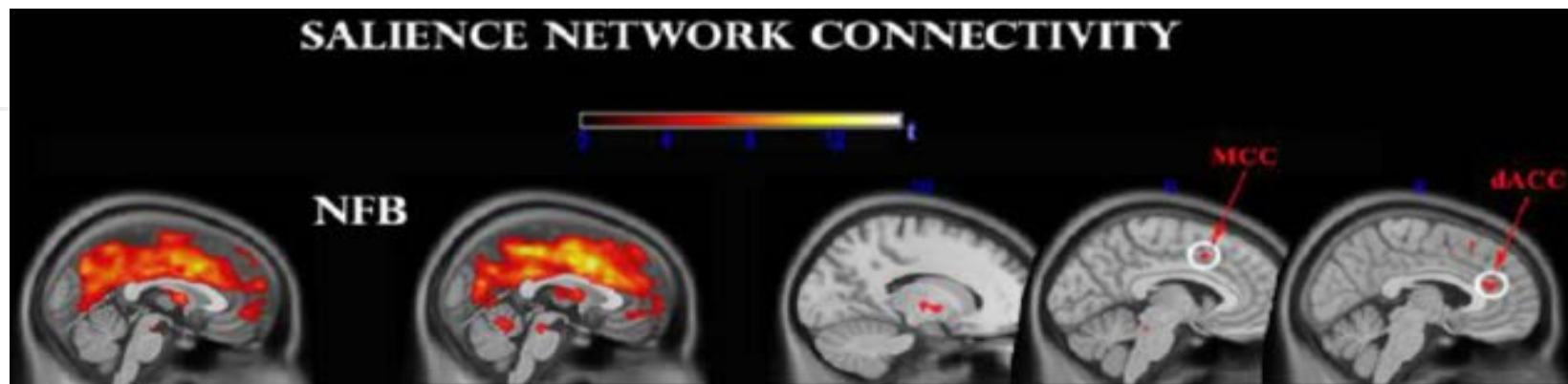
Ros et al. Mind over chatter: plastic up-regulation of the fMRI salience network directly after EEG neurofeedback  
Neuroimage. 2013 January 15; 65: 324-335

# NFB: assises neurobiologiques

## Modulation intentionnelle de l'activité EEG

Paradigme de Ros et al. 2013 : Résultats :

- **Augmentation de la connectivité** entre les aires cérébrales du réseau de salience.
- Modification de cette connectivité **détectable 30 minutes après** la fin de l'entraînement.
- Pas de modification de connectivité dans le réseau DMN (NFB Group et Sham Group)



Augmentation connectivité entre **MCC** (Cortex Cingulaire Médian) et **dACC** (Cortex Cingulaire Antérieur Dorsal)

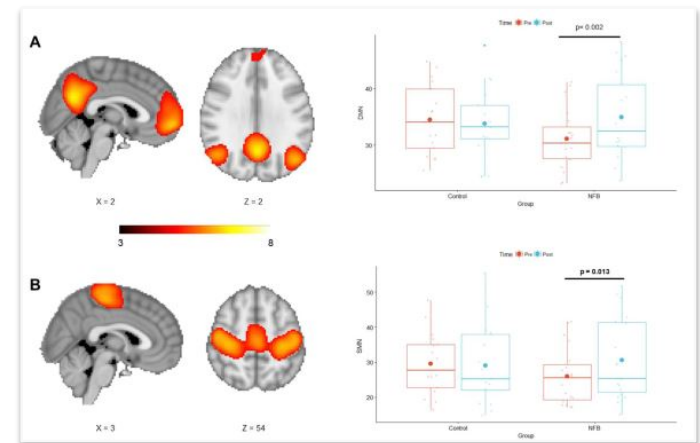
# NFB: assises neurobiologiques

## Modification de la connectivité intracérébrale.



### Paradigme de Marins et al. 2019 :

- **Objectif :**
  - Comparer la **connectivité** dans le réseau sensori-moteur (SMN) **avec ou sans l'aide du NFB.**
- **Méthode :** 36 sujets sains
  - Etude **randomisée, en double aveugle avec groupe controle.**
  - Tâche d'imagerie motrice assistée d'un retour en temps réel de leur activité cérébrale.
  - Pas de mouvement effectif.
  - Un Groupe Vrai-NFB.
  - Un Groupe Faux-NFB.



T. Marins et al. 2019 Structural and functional connectivity changes in response to short-term neurofeedback training with motor imagery. NeuroImage Volume 194, 1 July 2019, Pages 283-290

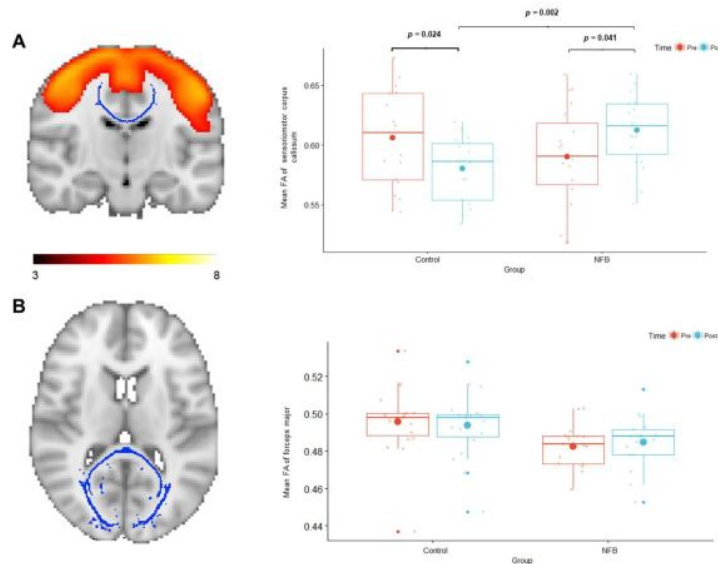
# NFB: assises neurobiologiques

## Modification de la connectivité intracérébrale.

### Paradigme de Marins et al. 2019 :

- **Résultats :**

- synchronisation du réseau réseau sensorimoteur est augmentée dans le groupe vrai NFB
- La connectivité est restée stable dans le groupe controle (faux NFB).



**Augmentation de la connectivité fonctionnelle ET structurale dans la partie sensorimotrice du corps calleux.**

T. Marins et al. 2019 Structural and functional connectivity changes in response to short-term neurofeedback training with motor imagery. NeuroImage Volume 194, 1 July 2019, Pages 283-290



# NFB: assises neurobiologiques

## Modification de la connectivité intracérébrale.



### Paradigme de Marins et al. 2019 :

- **Commentaires :**
  - **Rapidité d'apparition** des changements.  
Après une séance de 20 à 60 mn selon les études.
  - **Effets perdurent** des jours voir des semaines après le(s) entraînement(s). (Marins et al.2015; Auer et al.2015; Yoo et al. 2008 ).
  - L'augmentation de la connectivité n'est pas uniquement fonctionnelle :  
Le NFB induit des changements dans l'architecture des fibres de la substance blanche dans la segmentation sensori-moteur du corps calleux (induction d'une plasticité cérébrale : myélinisation ?).

**Auer et al. 2015.** Training efficiency and transfer success in an extended real-time functional MRI neurofeedback training of the somatomotor cortex of healthy subjects. *Front. Hum. Neurosci.* 9, 1-14.

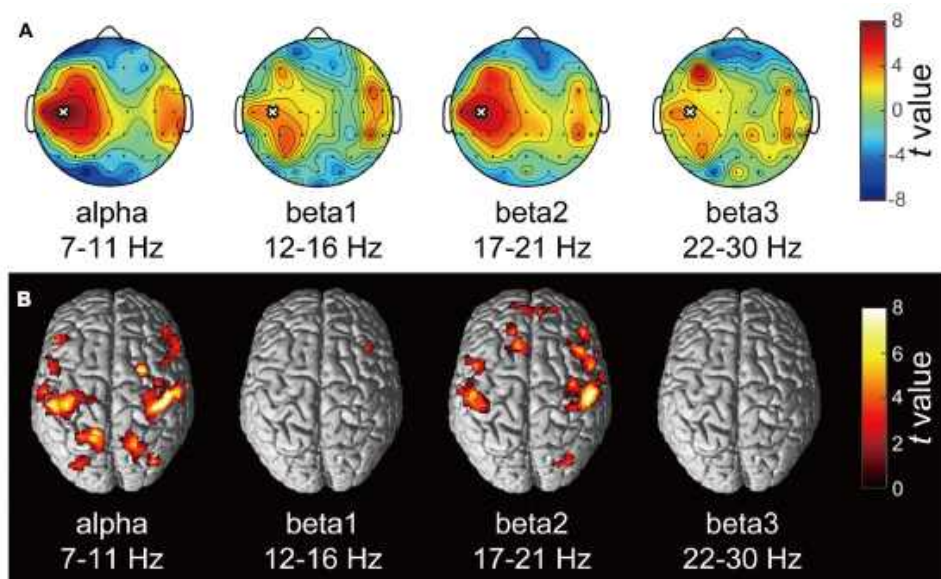
**Marins et al. 2015.** Enhancing motor network activity using real-time functional MRI neurofeedback of left premotor cortex. *Front. Behav. Neurosci.* 9, 1-12.

**Yoo et al. 2008.** Neurofeedback fMRI-mediated learning and consolidation of regional brain activation during motor imagery. *Int. J. Imaging Syst. Technol.* 18, 69-78.

# NFB: assises neurobiologiques

## Liens entre activité EEG et activité BOLD (IRMf) ?

- Correlations entre rythme EEG SMR et IRMf sur la bande sensorimotrice (Tsuchimoto. 2017 , Yin. 2016).



## Etudes simultanées EEG-IRMf

### Resting-State Fluctuations of EEG Sensorimotor Rhythm Reflect BOLD Activities in the Pericentral Areas: A Simultaneous EEG-fMRI Study

Shohei Tsuchimoto<sup>1</sup>, Shuka Shibusawa<sup>1</sup>, Nobuaki Mizuguchi<sup>2,3</sup>, Kenji Kato<sup>4</sup>, Hiroki Ebata<sup>5</sup>, Meigen Liu<sup>4</sup>, Takashi Hanakawa<sup>6,7</sup> and Junichi Ushiba<sup>3,8\*</sup>

**FIGURE 3** | Correlation maps of the SMR modulation wave elicited from C3 in each frequency band. **(A)** Each topography map shows the spatial distribution of the correlation coefficient between the SMR modulation elicited from C3 and that at other electrodes. The white crosses represent the C3 channel and the black dots represent other EEG channels. The color bar shows the strength of correlation. **(B)** The statistical *t*-maps of fMRI negative correlations of each component of SMR modulation with the BOLD signals ( $p < 0.001$  uncorrected, cluster-level FWE  $p < 0.05$ ).

**Tsuchimoto S et al. 2017** Resting-State Fluctuations of EEG Sensorimotor Rhythm Reflect BOLD Activities in the Pericentral Areas: A Simultaneous EEG-fMRI Study. *Front. Hum. Neurosci.* 11:356.

**Yin et al. 2016.** Amplitude of sensorimotor mu rhythm is correlated with BOLD from multiple brain regions: a simultaneous EEG-fMRI study. *Front. Hum. Neurosci.* 10:364.

## 1. Renforcement non désiré du tonus musculaire...

- Ubiquité des tensions musculaires non conscientisées de l'extrémité encéphalique. (Front, cou, masséters, muscles trapèzes).
  - Les activités EEG mesurées sur le scalp se chevauchent avec les activités musculaires (si >20Hz)!

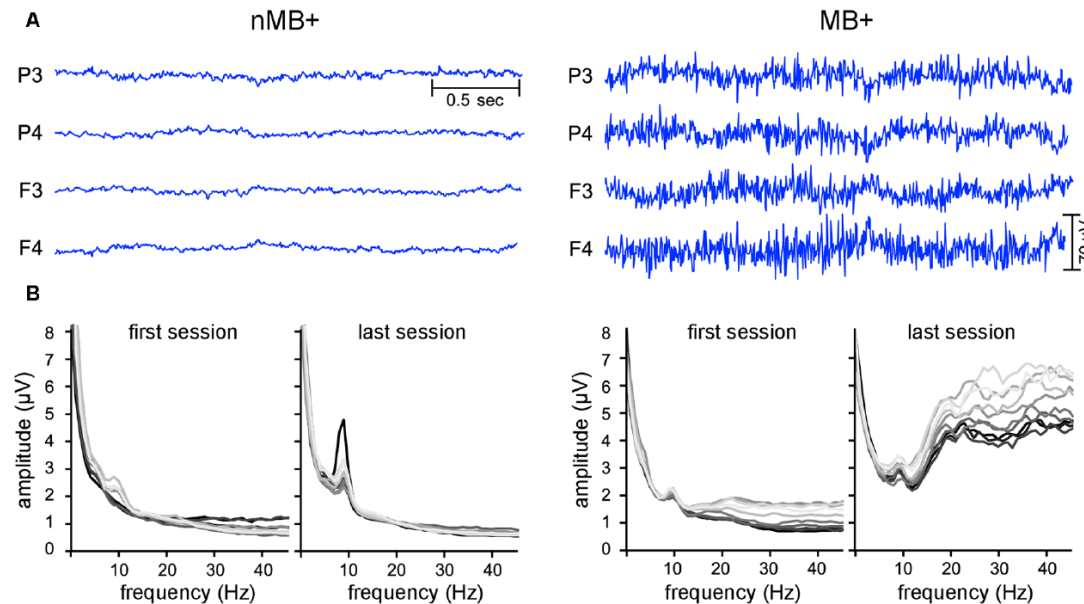
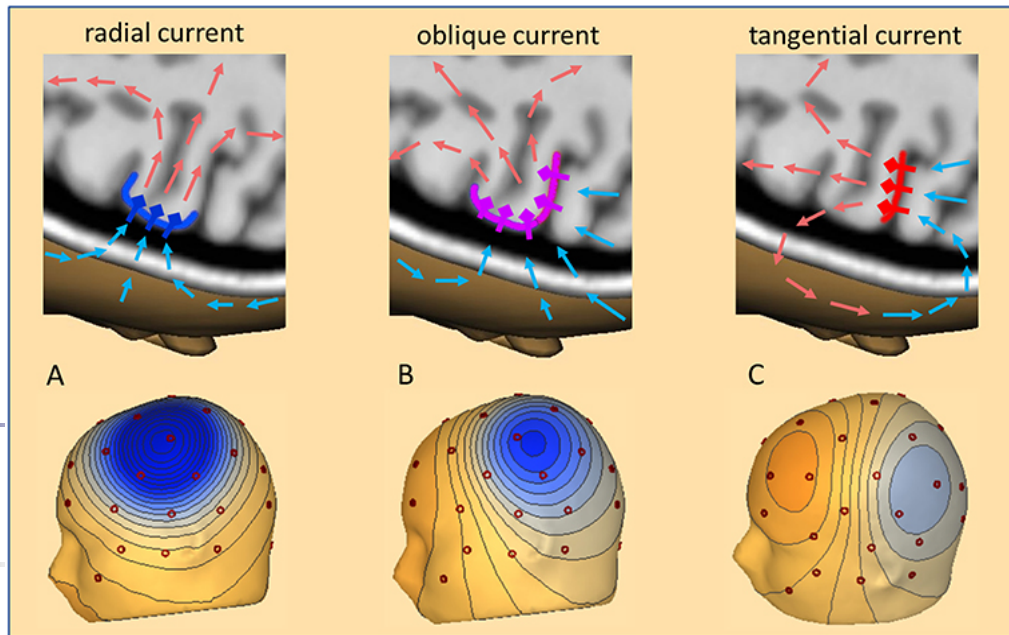


FIGURE 2 | Examples of the EEG data with and without the EMG contamination. (A) Raw EEG signal from four electrodes used for training. (B) Frequency spectra (fast Fourier transform (FFT)) averaged for all four NFB electrodes. Each line corresponds to a one 3-min block in the session, with each consecutive block

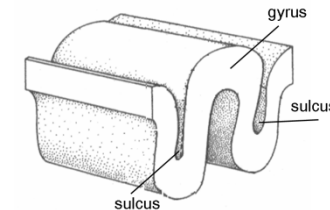
Paluch et al 2017. Beware: Recruitment of Muscle Activity by the EEG-Neurofeedback Trainings of High Frequencies. Front. Hum. Neurosci. 11:119.

## 2. Choisir la zone cérébrale cible...

- Efficacité du NFB dépend fortement du protocole d'entraînement choisi (cible corticale d'intérêt et gamme d'ondes à moduler).
- L'activité EEG est issue des potentiels d'actions post synaptiques des neurones pyramidaux **perpendiculaires** au scalp.



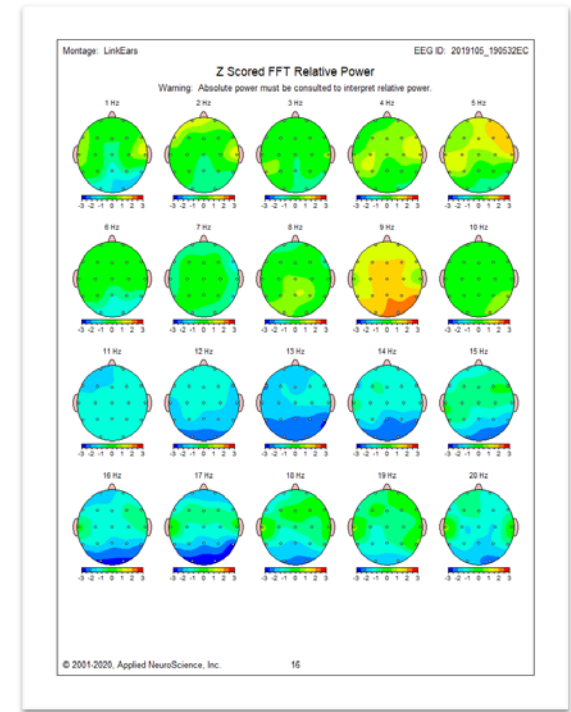
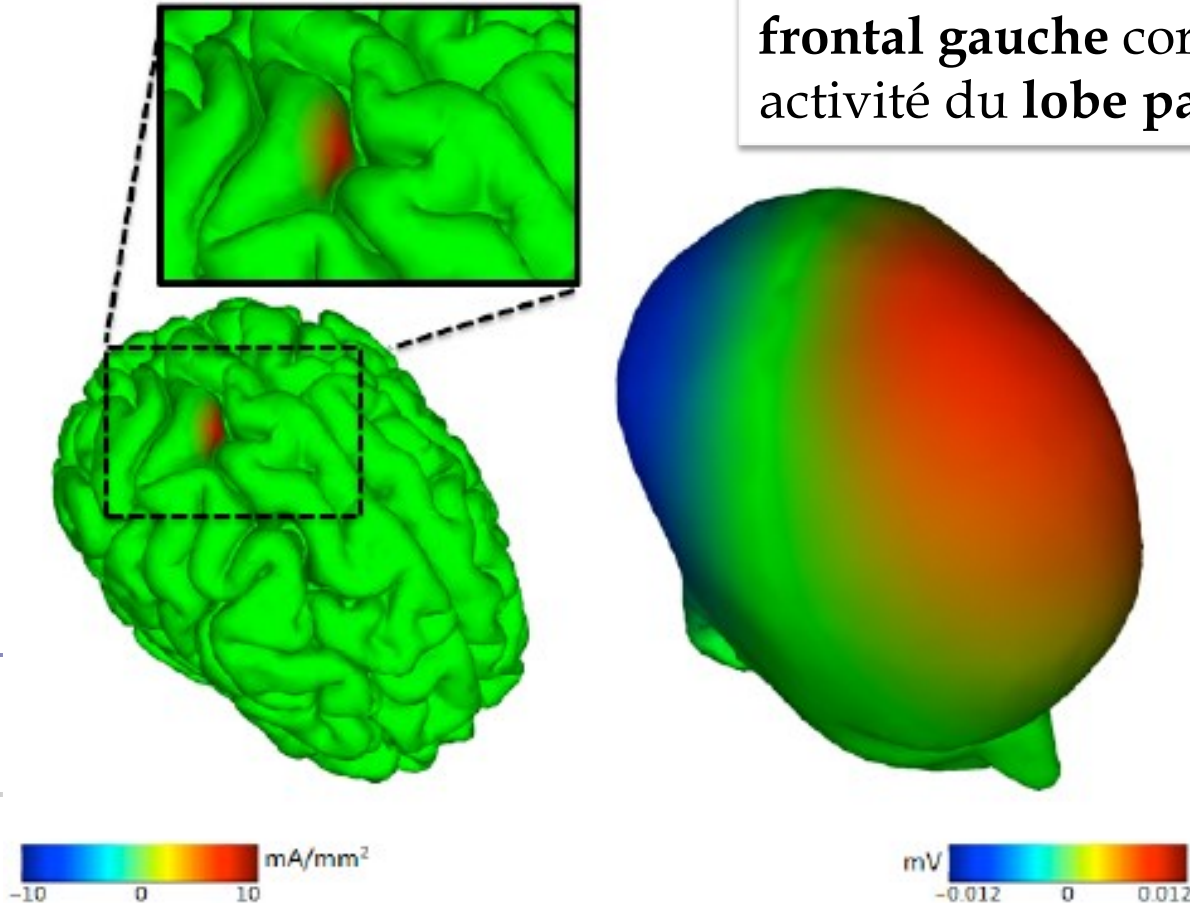
Activités d'un Gyrus ? **Oui.**  
Activités d'un Sulcus ? **Non !**



50% de l'activité mesurée provient des neurones **immédiatement sous l'électrode.**  
95% de l'activité mesurée provient des neurones présents dans un **rayon de 6 cm.**

## 3. Les ondes EEG diffusent...mais où est la source ?

L'activité mesurée sur le scalp au niveau **frontal gauche** correspond en fait à une activité du **lobe pariétal droit** ! .....



Loo et al. 2012. "Clinical utility of EEG in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A research update" Neurotherapeutics 9,3:569-587

# Le Neurofeedback dans les troubles de l'apprentissage



**Concentration**  
**Mémorisation**  
**Emotions**



- **Trouble déficitaire de l'attention avec/sans hyperactivité (TDA/TDAH)**
  - NFB recommandé par l'association américaine de pédiatrie.
  - Un niveau d'efficacité équivalent au méthylphénidate.
  - Effets bénéfiques maintenus > à 6 mois si NFB.
  - Cf. Meta analyse de Van Doren et al. 2016

European Child & Adolescent Psychiatry  
<https://doi.org/10.1007/s00787-018-1121-4>

REVIEW

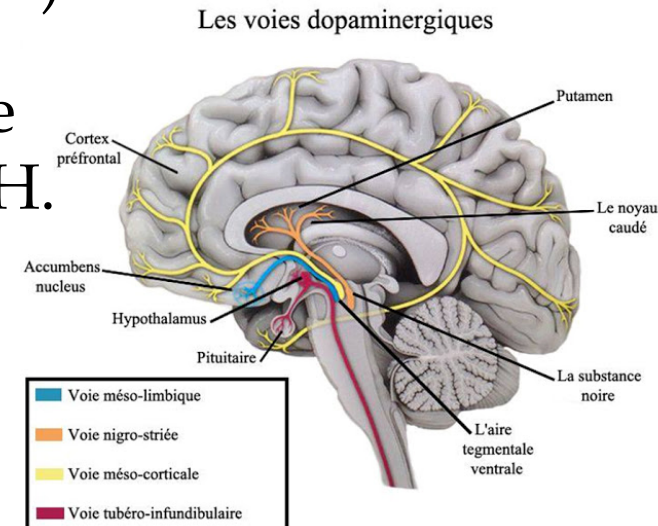


## Sustained effects of neurofeedback in ADHD: a systematic review and meta-analysis

Jessica Van Doren<sup>1</sup> · Martijn Arns<sup>2,3,4</sup> · Hartmut Heinrich<sup>1,5</sup> · Madelon A. Vollebregt<sup>4,6</sup> · Ute Strehl<sup>7</sup> · Sandra K. Loo<sup>8</sup>

## • Déficit de l'attention & Dopamine

- Stimulation des voies dopaminergiques améliore la détection de cible et **réduit les ondes EEG alpha**. (Dockree et al. 2017).
- Methylphenidate (inhibe la recapture de la **dopamine**) utilisé dans le TDAH.
- Methylphenidate réduit le **ratio theta/alpha** chez des adultes ADHD considérés comme répondeurs (Bresnahan et al. 2006).

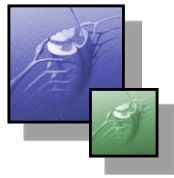


<https://science7.blogspot.com/2016/11/ii-les-voies-dopaminergiques.html>

**Dockree et al. (2017).** The Effects of Methylphenidate on the Neural Signatures of Sustained Attention. *Biological Psychiatry* 82, 687-694. doi: 10.1016/j.biopsych.2017.04.016

**Bresnahan et al. (2006).** Quantitative EEG analysis in dexamphetamine-responsive adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Psychiatry Res.*141, 151-159.





# NFB & Troubles de l'attention

## Libération de dopamine pendant une séance de EEG NFB.

Paradigme de Ros et al. 2021 :

- **Objectif :**
  - Evaluer la capacité du Neurofeedback à induire la libération de Dopamine.
- **Méthode :** 32 sujets sains
  - Etude **randomisée avec groupe controle.**
  - Groupe actif : 45 mn réduction onde alpha (8-12Hz) en Pz (pariétal)
  - Groupe contrôle : séance BFB-EMG muscle masseter.

### PET Imaging of Dopamine Neurotransmission During EEG Neurofeedback

*Tomas Ros<sup>1,2\*</sup>, Jessica Kwiek<sup>1,3\*</sup>, Theo Andriot<sup>1</sup>, Abele Michela<sup>1</sup>, Patrik Vuilleumier<sup>1\*</sup>, Valentina Garibotto<sup>4</sup> and Nathalie Ginovart<sup>1,3\*</sup>*

# NFB & Troubles de l'attention

## Libération de dopamine pendant une séance de EEG NFB.

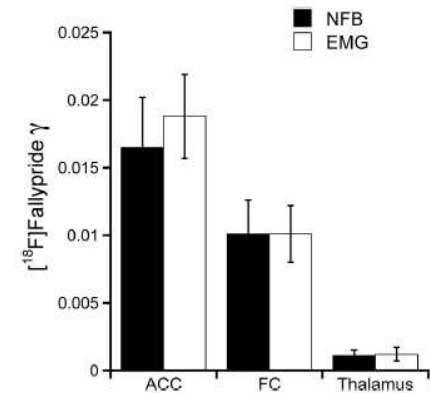
Paradigme de Ros et al. 2021 :

- Résultats :

- Groupe actif : réduction effective des ondes alpha.
- Groupe contrôle : pas de modification des ondes alpha.
- Libération de dopamine dans les deux groupes.
  - Niveau CCA (cortex cingulaire antérieur).
  - Niveau lobe frontal.

### PET Imaging of Dopamine Neurotransmission During EEG Neurofeedback

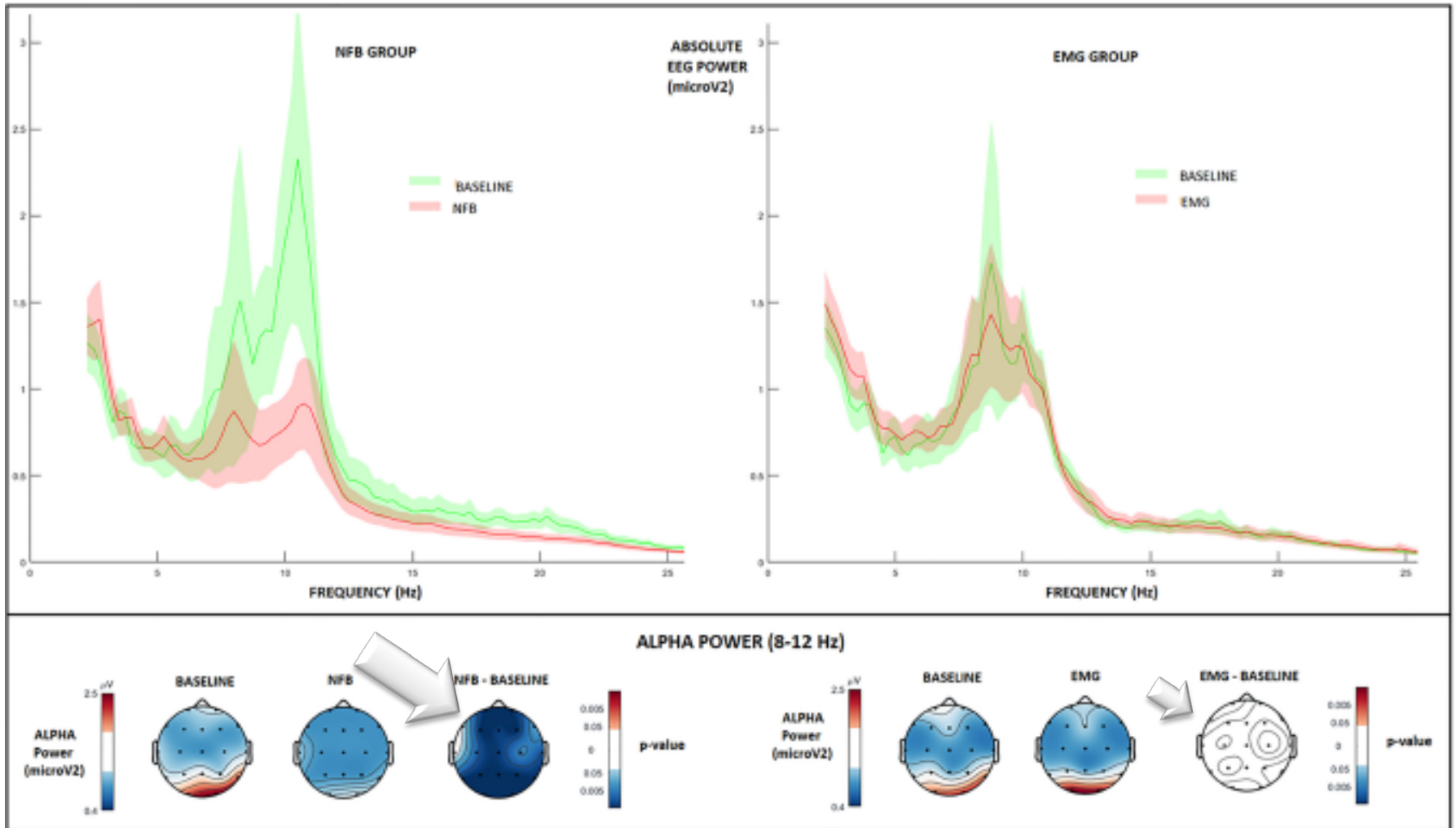
Tomas Ros<sup>1,2\*</sup>, Jessica Kwiek<sup>1,3\*</sup>, Theo Andriot<sup>1</sup>, Abele Michela<sup>1</sup>, Patrik Vuilleumier<sup>1\*</sup>, Valentina Garibotto<sup>4</sup> and Nathalie Ginovart<sup>1,3\*</sup>



**FIGURE 3 |** Endogenous dopamine release during NFB and EMG conditions. Bar graphs with NFB and EMG group  $\gamma$  parameter values (i.e., amplitude of [<sup>18</sup>F]Fallypride ligand displacement) for hypothesized regions-of-interest: anterior cingulate cortex (ACC), frontal cortex (FC), and thalamus. No statistically significant differences in were detected between groups.

# NFB & Troubles de l'attention

## Réduction des ondes alpha dans groupe NFB seulement



Ros T et al. 2021. PET Imaging of Dopamine Neurotransmission During EEG Neurofeedback. Front. Physiol. 11:590503.

# NFB & Troubles de l'attention

## Déficit de l'attention

- Maturation (myélinisation) des cortex préfrontaux non linéaire, asymétrique
- Différences inter-individuelle (Gauche/Droite).
- Manque de processus inhibiteurs top-down.
- **En synthèse :**
- Le TDAH : un syndrome avec des **patterns d'activations corticales différents** d'un enfant à l'autre.

## Neurofeedback

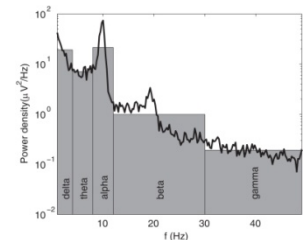
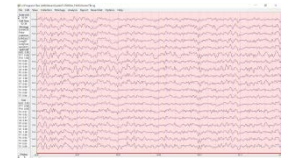
- Stimule plasticité cérébrale et la libération de dopamine.
- Augmente les processus inhibiteurs top-down ( protocole SMR agit sur la boucle thalamo-corticale).
- **NFB en synthèse :**
  - Besoin définir une **cible corticale** « accessible en EEG ».
  - Besoin définir une **cible fréquente** EEG (Ondes delta, theta, alpha, bêta, gamma?)

**Intérêt d'une évaluation de l'activité cérébrale pour mieux définir la cible corticale et la gamme d'onde EEG à travailler par Neurofeedback.**

# L'EEG Quantitatif : définition

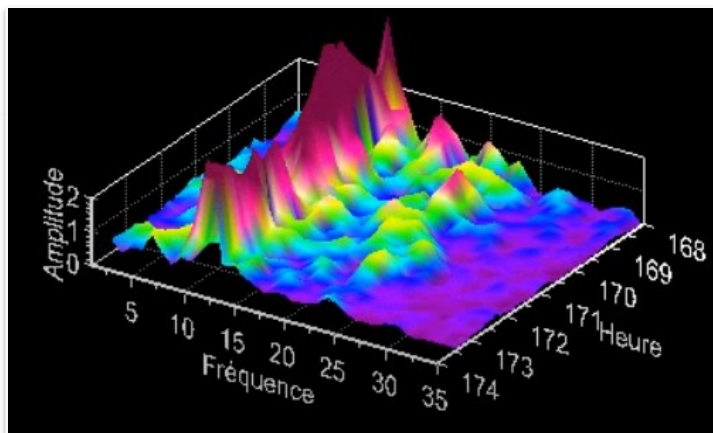
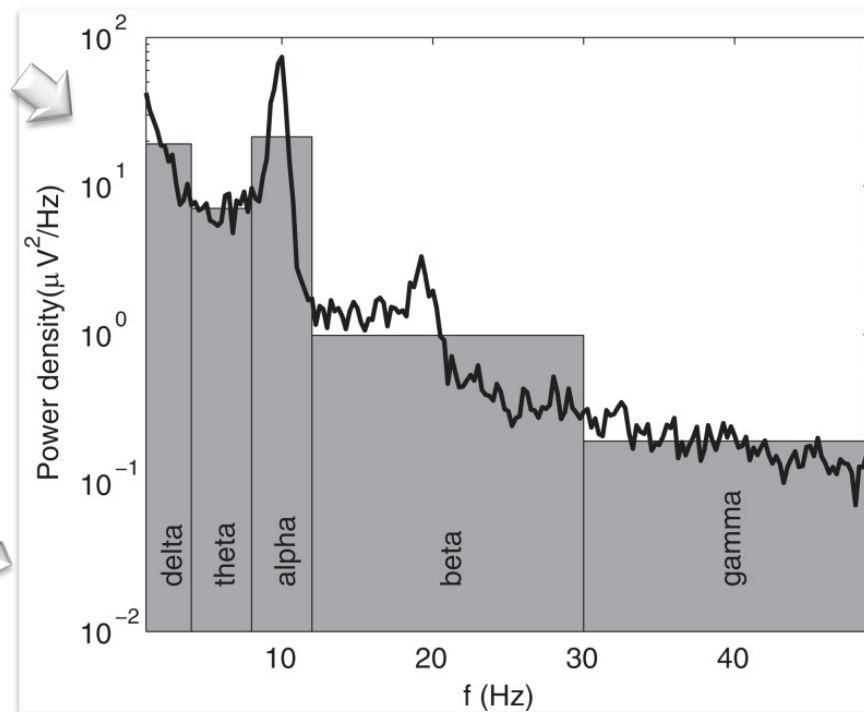
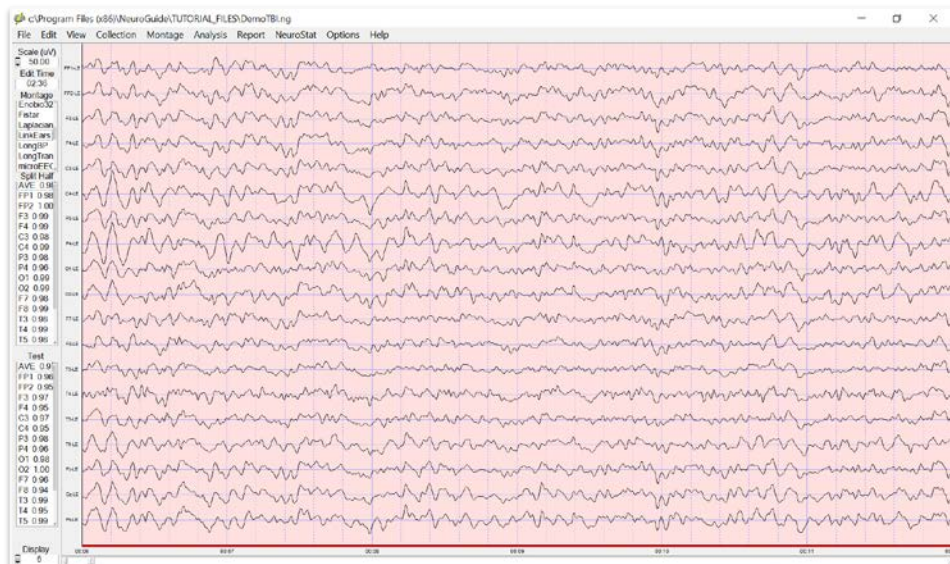
## Evaluation de l'activité cérébrale

- **EEG Quantitatif :**
  - Mesure la **quantité** d'activité EEG corticale **ET** sous corticale pendant une durée déterminée.
  - On apprécie la quantité **MOYENNE** de l'activité cérébrale selon des bandes de fréquences.
- **Différences EEG et EEGQuantitatif:**
  - Analyse **QUANTITATIVE**.
  - **PAS** une analyse qualitative de l'aspect des ondes cérébrales.
  - Diagnostic versus **Evaluation !**
- **Quantifier des gammes d'ondes**
  - Delta : 0.5 à 4Hz : sommeil profond, non-conscience
  - Thêta : 4 à 8Hz : Rêverie, inattention
  - Alpha<sub>1,2</sub> : 8 à 12Hz : relaxation, méditation
  - Béta<sub>1,2,3</sub> : 13 à 30 Hz : alerte, focus, orientation externe, actif



# L'EEG Quantitatif : définition

## Quantifier des gammes d'ondes





Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Psychiatry Research

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/psychres](http://www.elsevier.com/locate/psychres)



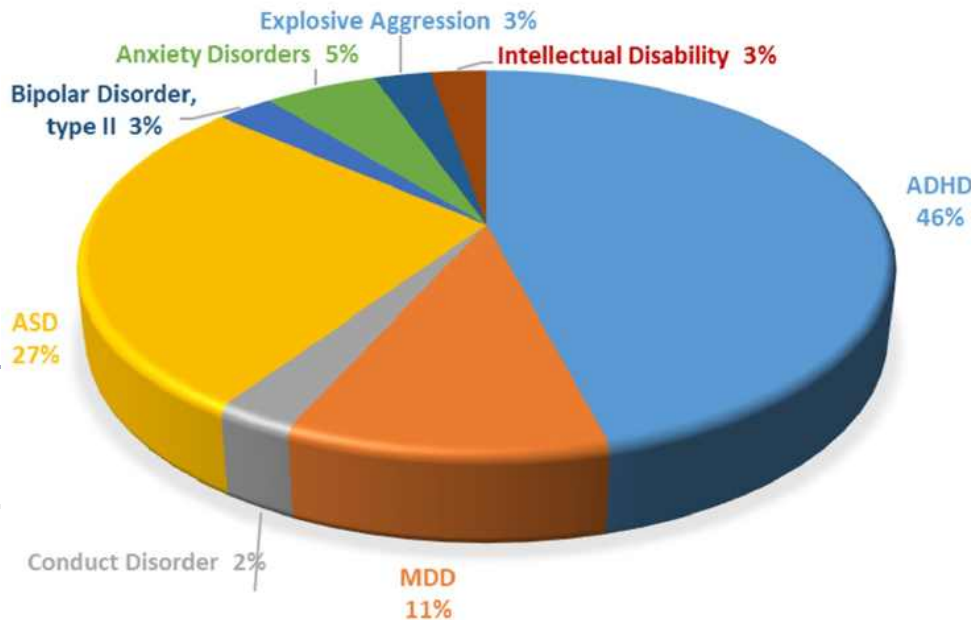
Review article

## A systematic review of quantitative EEG as a possible biomarker in child psychiatric disorders



Molly McVoy<sup>a,\*</sup>, Sarah Lytle<sup>a</sup>, Erin Fulchiero<sup>a</sup>, Michelle E. Aebi<sup>b,c</sup>, Olunfunke Adeleye<sup>a</sup>, Martha Sajatovic<sup>b,c</sup>

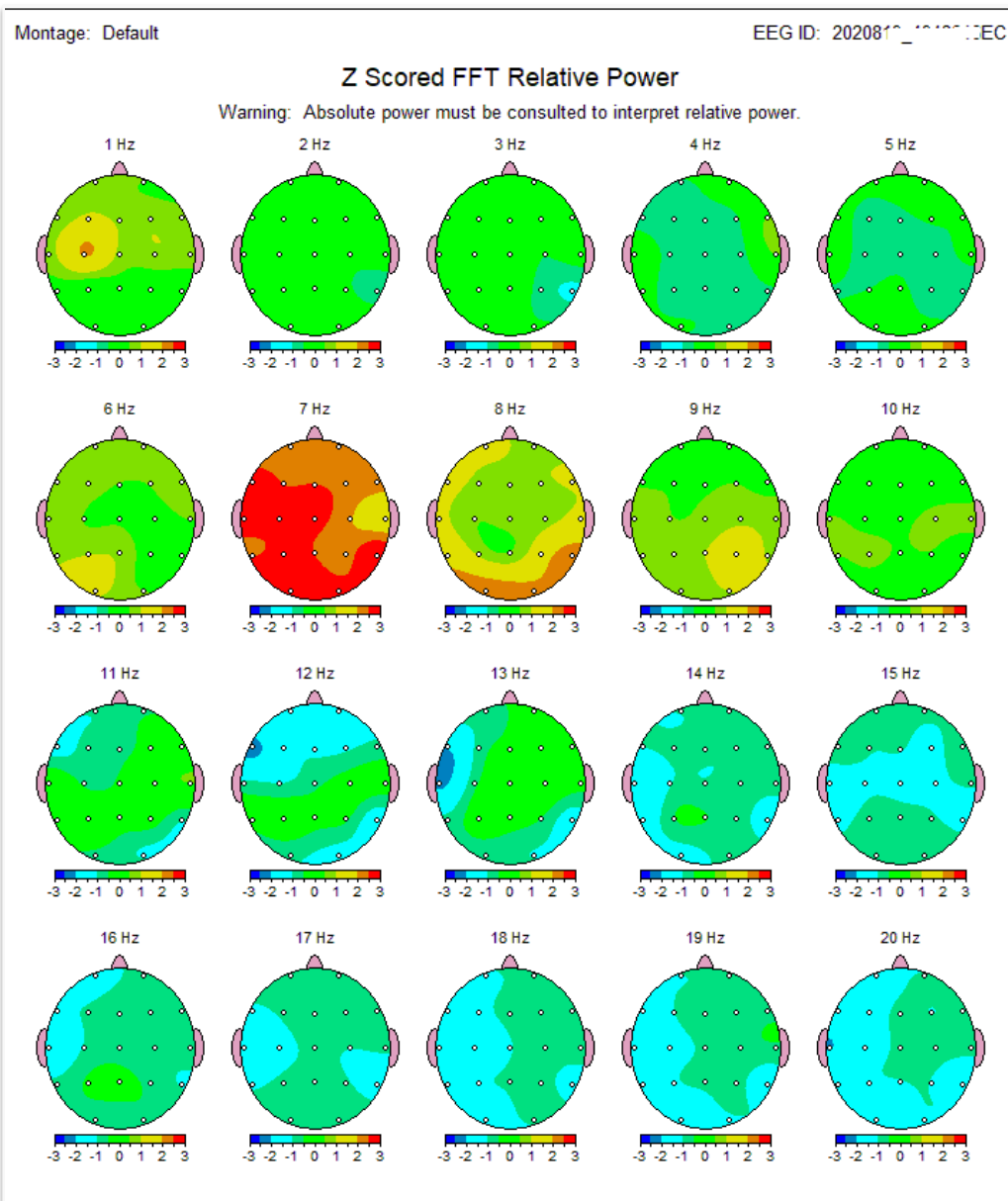
33 études soit 2268 enfants/adolescents



- **ADHD** : Excès Ondes Thêta versus sujets contrôle.
- **ASD** : Réduction de la cohérence (connectivité intracérébrale) versus control.

Fig. 3. Diagnoses studied with qEEG .

# Ex. EEGq : étude de l'activité corticale

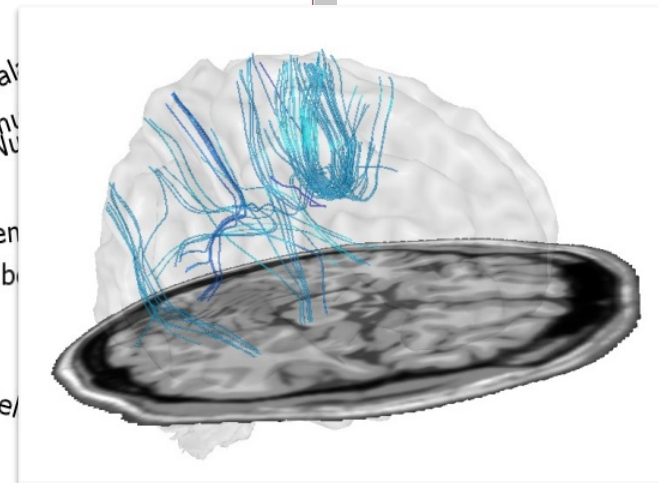
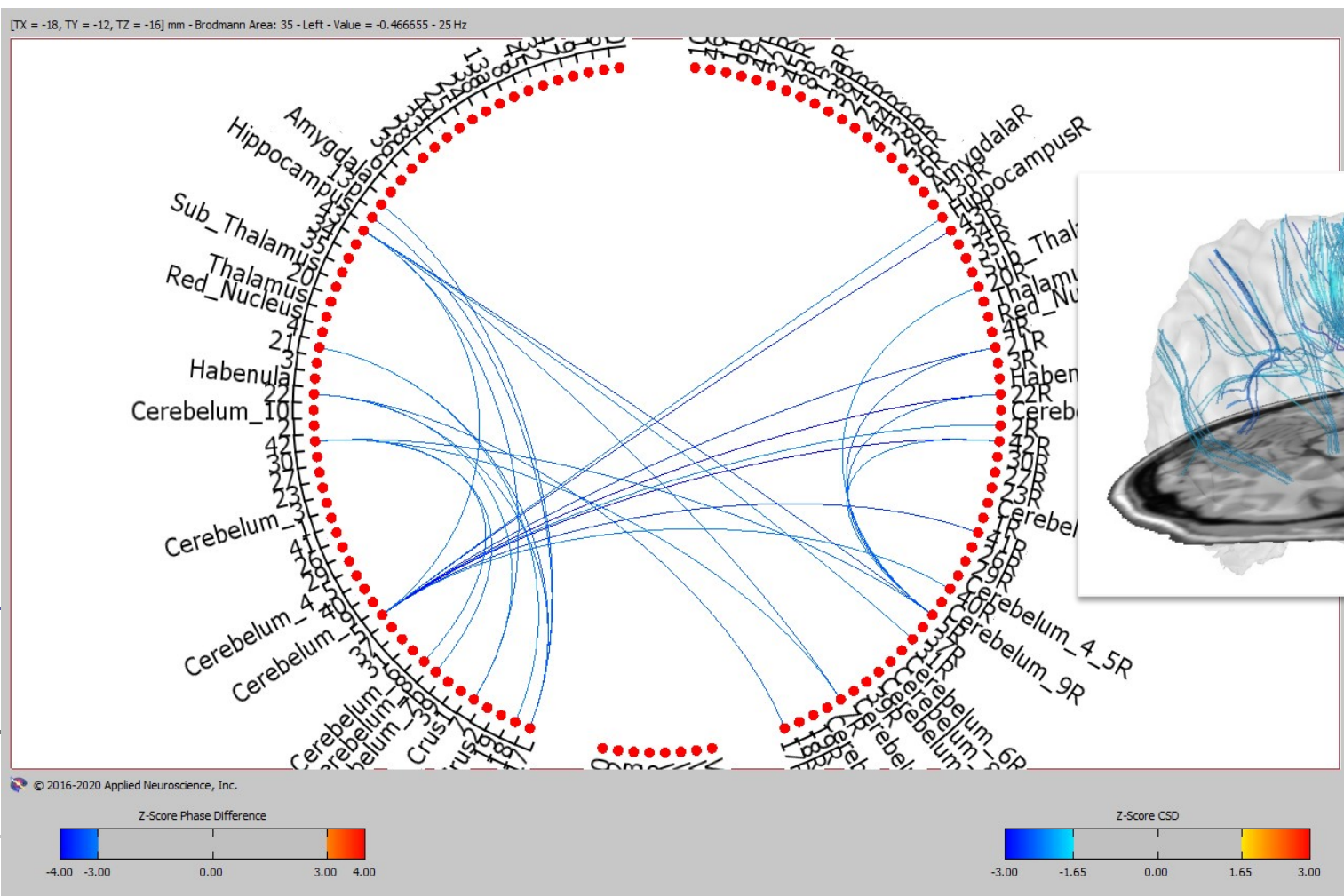


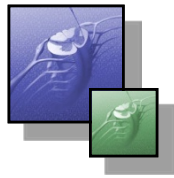
**Excès d'ondes  
Theta 7 Hz**



# Ex. EEGq : étude de connectivité

## Réduction de connectivité de la BA 5 G





# Ex. EEGq : étude de connectivité

## Calcul & Connectivité intracérébrale

### Etude de Anzalone et al. 2020 :

APPLIED NEUROPSYCHOLOGY: CHILD  
<https://doi.org/10.1080/21622965.2020.1830403>

#### QEEG coherence patterns related to mathematics ability in children

Christopher Anzalone, Jessica C. Luedke, Jessica J. Green, and Scott L. Decker

Department of Psychology, University of South Carolina, Columbia, South Carolina, USA

- **Objectifs :**
  - Comparer le degré de connectivité du cortex pariétal inférieur et le niveau de performance mathématique.
  - Etude EEGQ de repos chez 60 enfants (ages 7–12 years).

# Ex. EEGq : étude de connectivité

## Calcul & Connectivité intracérébrale

### Etude de Anzalone et al. 2020 :

- **Résultats** : Plus grande connectivité du lobe pariétal inférieur (BA40 R) semble associée à de plus grandes performances (calculs, résolution de problèmes, fluence).

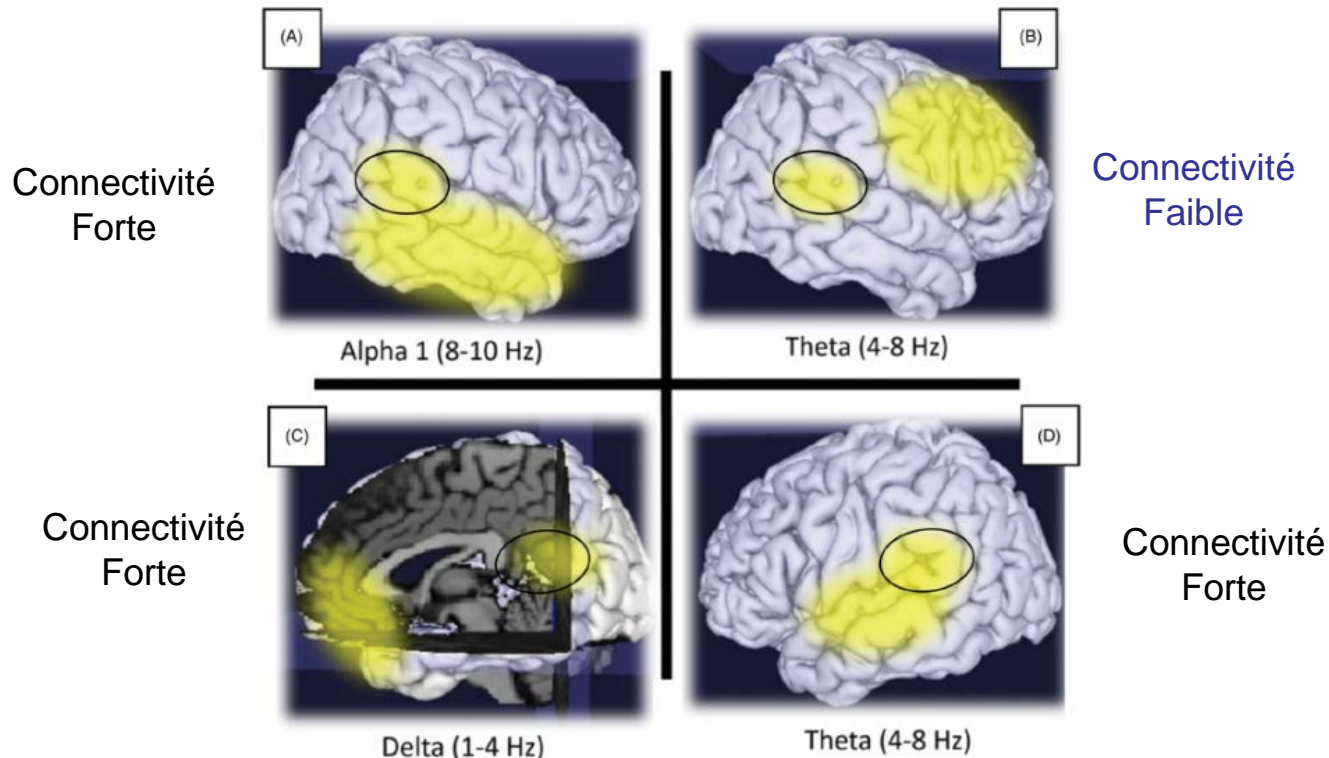
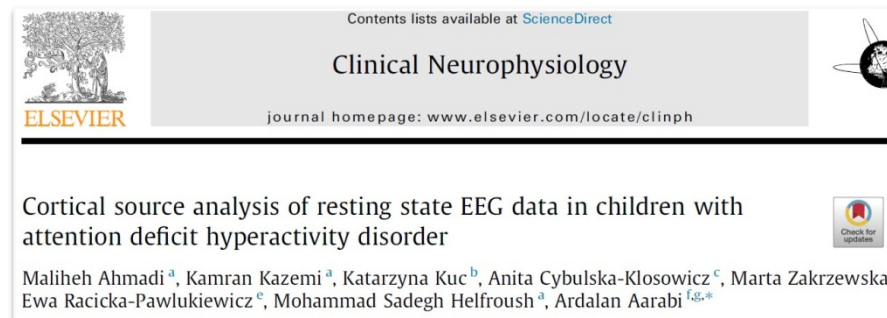


Figure 1. Associated coherence components. (A) Alpha 1 component 1, right hemisphere; (B) theta component 4, right hemisphere; (C) delta component 1, left hemisphere; (D) theta component 1, left hemisphere. Note: encircled regions represent the cortical location of Brodmann area 40 (i.e., the surface of the inferior parietal lobe) within the specified coherence component.

## Le TBR(ratio Theta/Béta) : marqueur EEG de TDAH ?

Etude de Ahmadi et al. 2020 :



- **Méthode :**

- EEG Quantitatif chez 80 enfants de 8 à 16 ans
- Un groupe TDAH 40 enfants (avec et sans hyperactivité)
  - ADHD<sub>8-10</sub>, ADHD<sub>10-12</sub>, ADHD<sub>12-14</sub>, ADHD<sub>14-16</sub>
- Un groupe contrôle 40 enfants indemmes
  - HC<sub>8-10</sub>, HC<sub>10-12</sub>, HC<sub>12-14</sub>, HC<sub>14-16</sub>

Ahmadi et al. 2020 Cortical source analysis of resting state EEG data in children with attention deficit hyperactivity disorder.

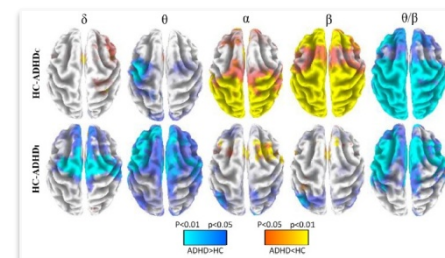
# NFB & Troubles de l'attention

## Le TBR(ratio Theta/Béta) : marqueur EEG de TDAH ?

Etude de Ahmadi et al. 2020 :

- **Résultats :**

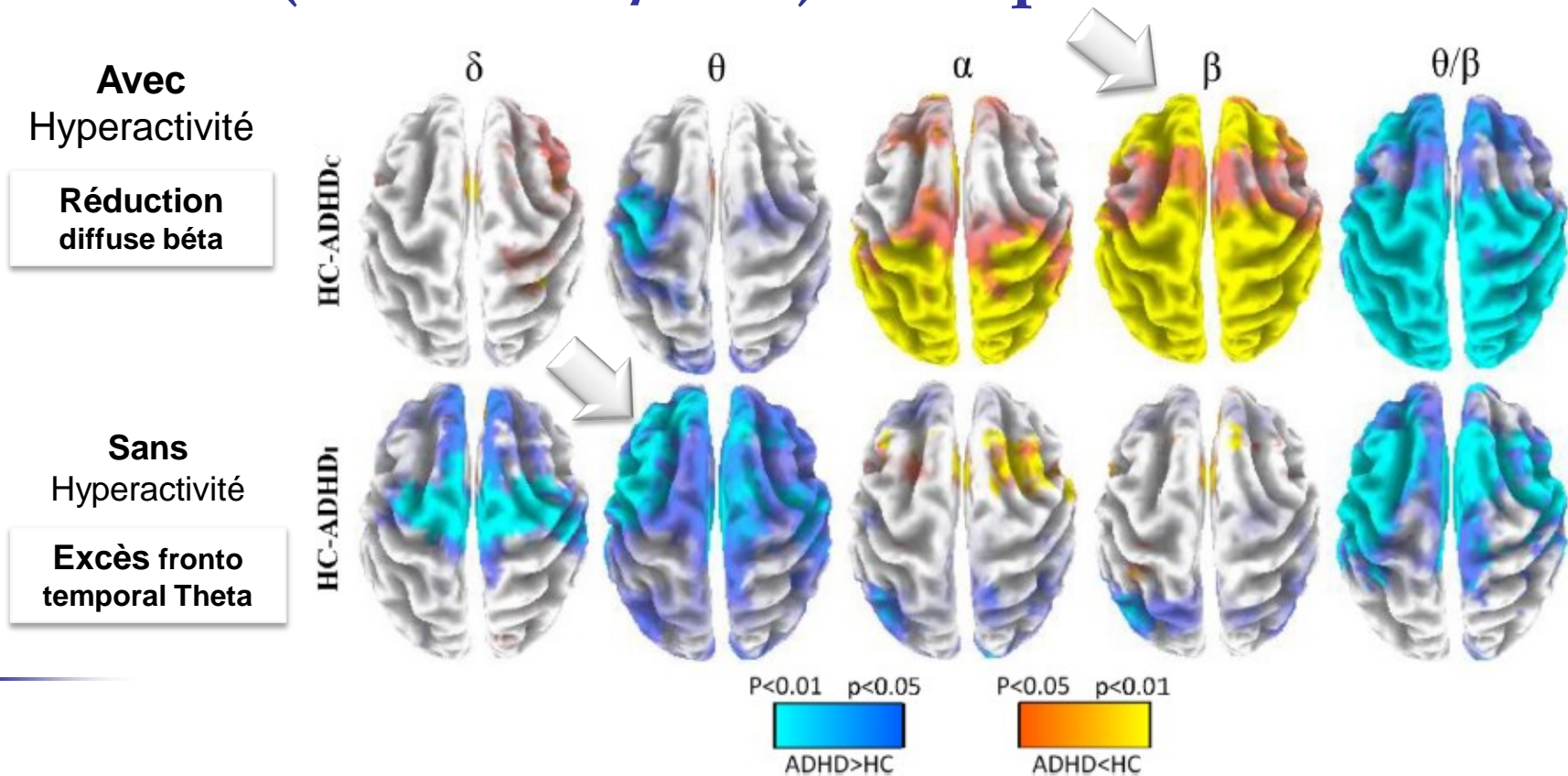
- Elévation du ratio theta/beta dans le groupe TDAH.
- Trouble attention **SANS** hyperactivité :
  - Elevation quantité Ondes EEG Théta fronto-centrale et temporale.
- Trouble attention **AVEC** hyperactivité :
  - Réduction diffuse quantité des ondes béta.



Ahmadi et al. 2020 Cortical source analysis of resting state EEG data in children with attention deficit hyperactivity disorder.

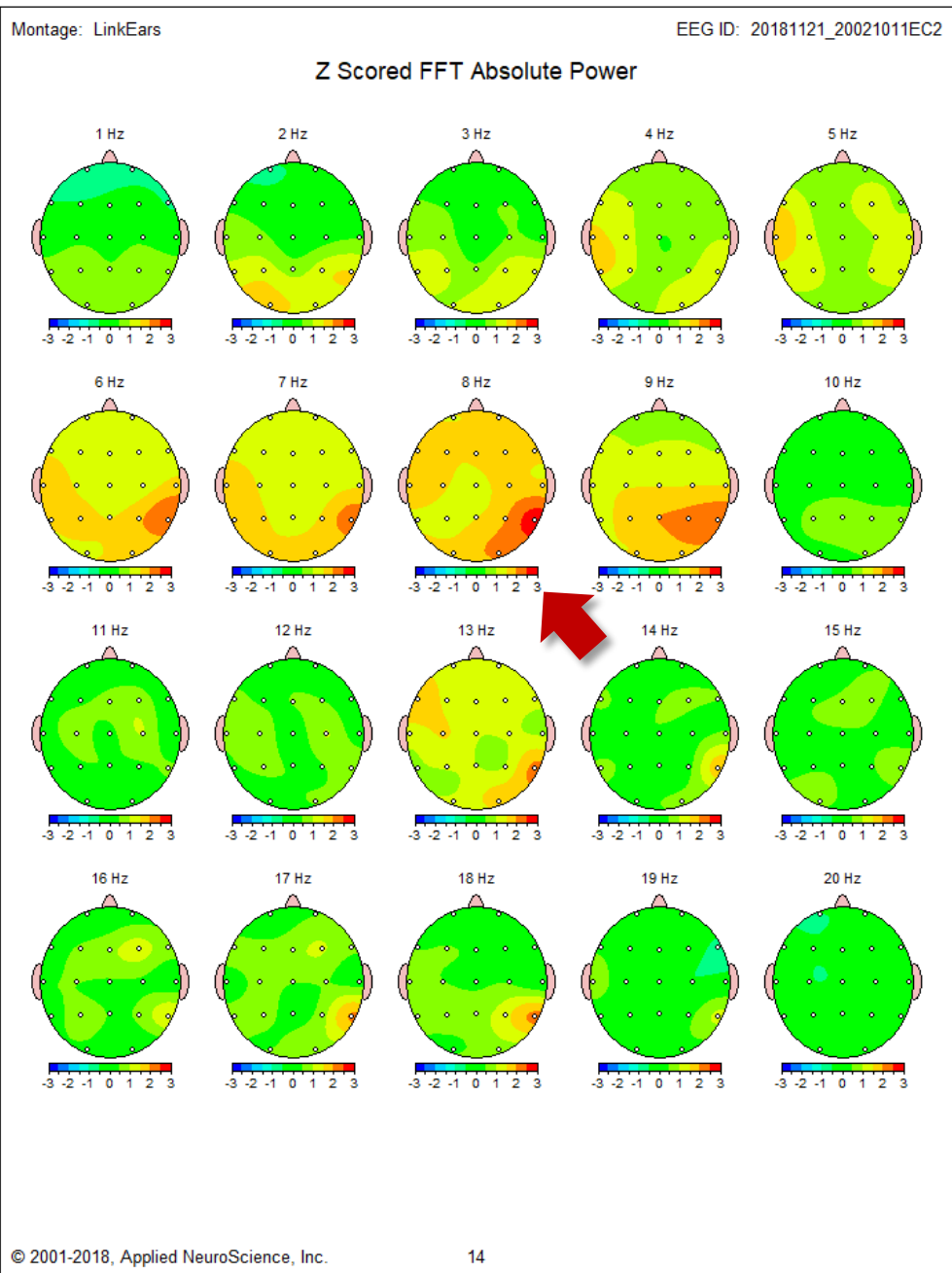
# NFB & Troubles de l'attention

## Le TBR(ratio Theta/Béta) : marqueur EEG de TDAH ?

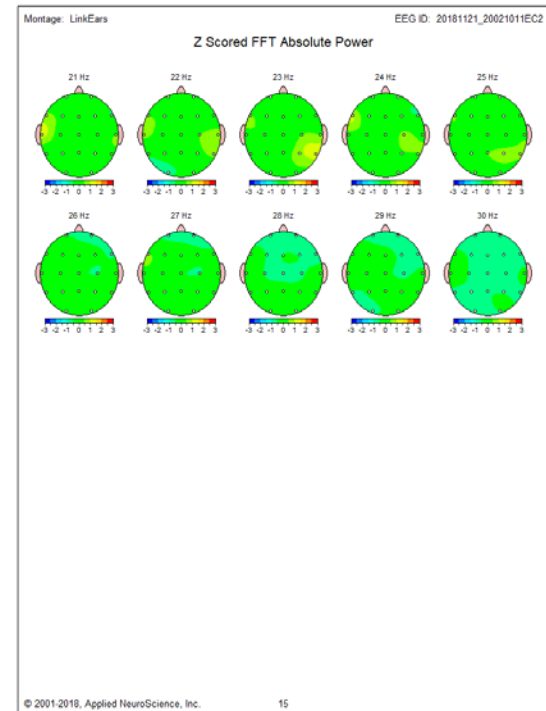


**Fig. 10.** Statistical p-maps (axial view) displaying significant differences in nCSD (eLORETA solutions) between HC and ADHD subtypes (ADHD<sub>c</sub> and ADHD<sub>i</sub>) within the delta ( $\delta$ ), theta ( $\theta$ ), alpha ( $\alpha$ ) and beta ( $\beta$ ) bands. The rightmost column shows the p-maps for the theta/beta power ratio ( $\theta/\beta$ ) for each subgroup. The colorbar shows statistical differences based on p-values with  $p < 0.05$  corrected for multiple comparison with non-parametric randomization (5000 randomizations) across all frequency bands and voxels. The color scale represents log F-ratio values with a threshold (for  $p < 0.05$ ) of  $\pm 0.16$  and  $\pm 0.29$  for ADHD<sub>c</sub> and ADHD<sub>i</sub>, respectively. The blue (red) color indicates greater (weaker) nCSD for ADHD compared to HC. HC: Healthy controls; ADHD: Attention deficit and hyperactivity disorder; ADHD<sub>c</sub>: ADHD combined; ADHD<sub>i</sub>: ADHD inattentive; nCSD: normalized current source density. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

- **Trouble déficitaire de l'attention avec/sans hyperactivité TDA/TDAH**
  - **Profils EEGq différents : schématiquement 4 types.**
    - Excès Ondes Thêta.
    - Excès Ondes Alpha ( souvent TDAH de l'adulte ).
    - Excès/réduction Bêta ( impulsivité, anxiété ).
    - Carence en ondes Delta (Fatigue, Insuffisance dopaminergique).
  - **Exemples de cas cliniques**



# TDAH Patient n°1 :

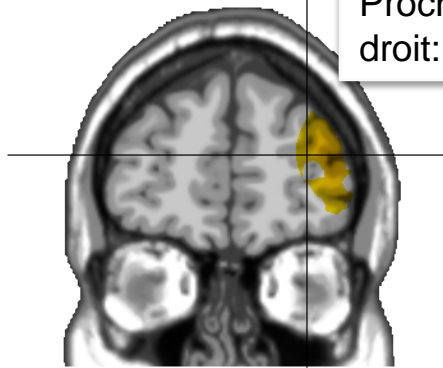
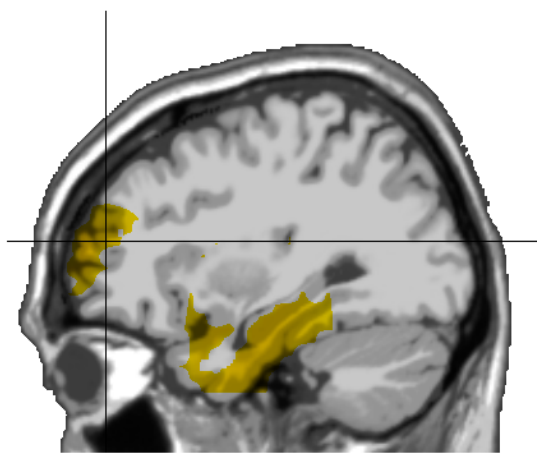
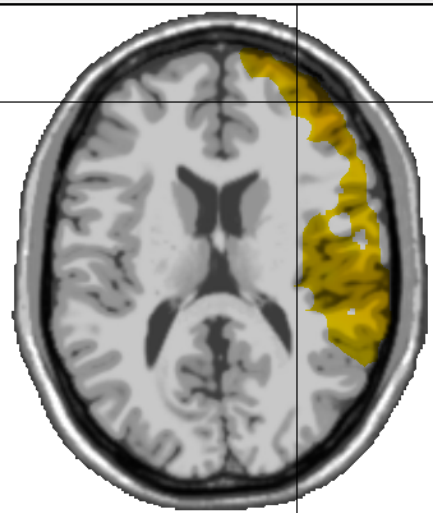


Augmentation de  
l'amplitude des ondes  
theta et alpha 6 à 9Hz en  
pariéto-occipital **droit.**(>  
3DS)

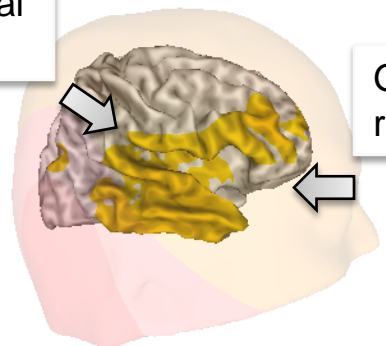


# TDAH Patient n°1 :

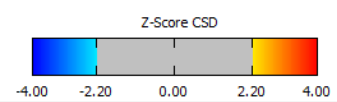
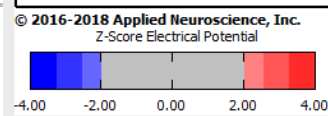
[X = 32, Y = 50, Z = 14] mm - Brodmann Area: 46 - Right - Value = 2.30741 - Sample: 8 Hz



Proche du Sillon Intra Pariétal droit: dyscalculie...



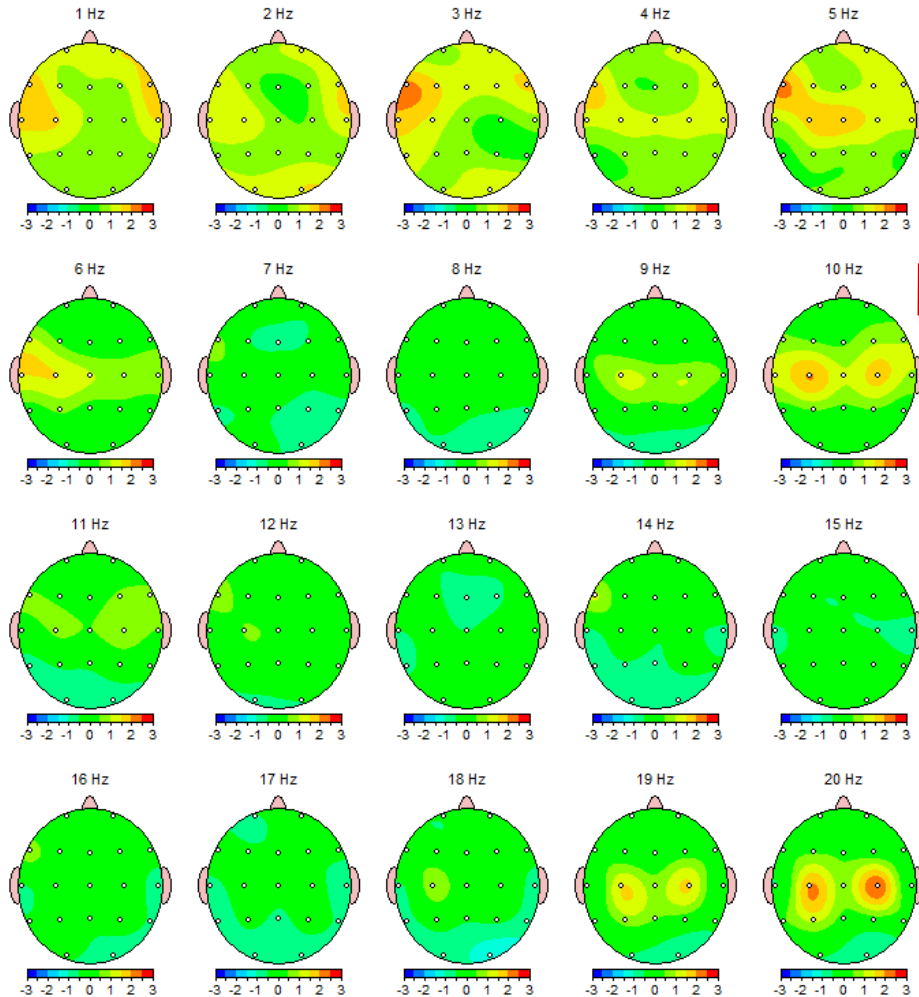
Gyrus frontal inférieur : résistance/inhibition cognitive



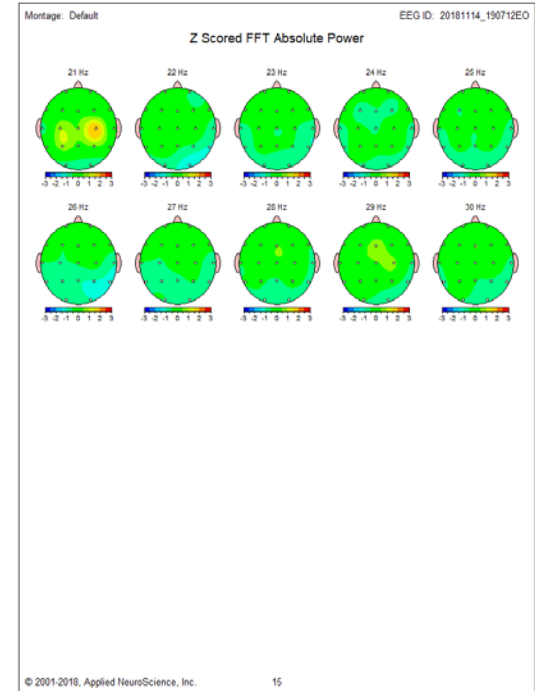
Montage: Default

EEG ID: 20181114\_190712EO

### Z Scored FFT Absolute Power

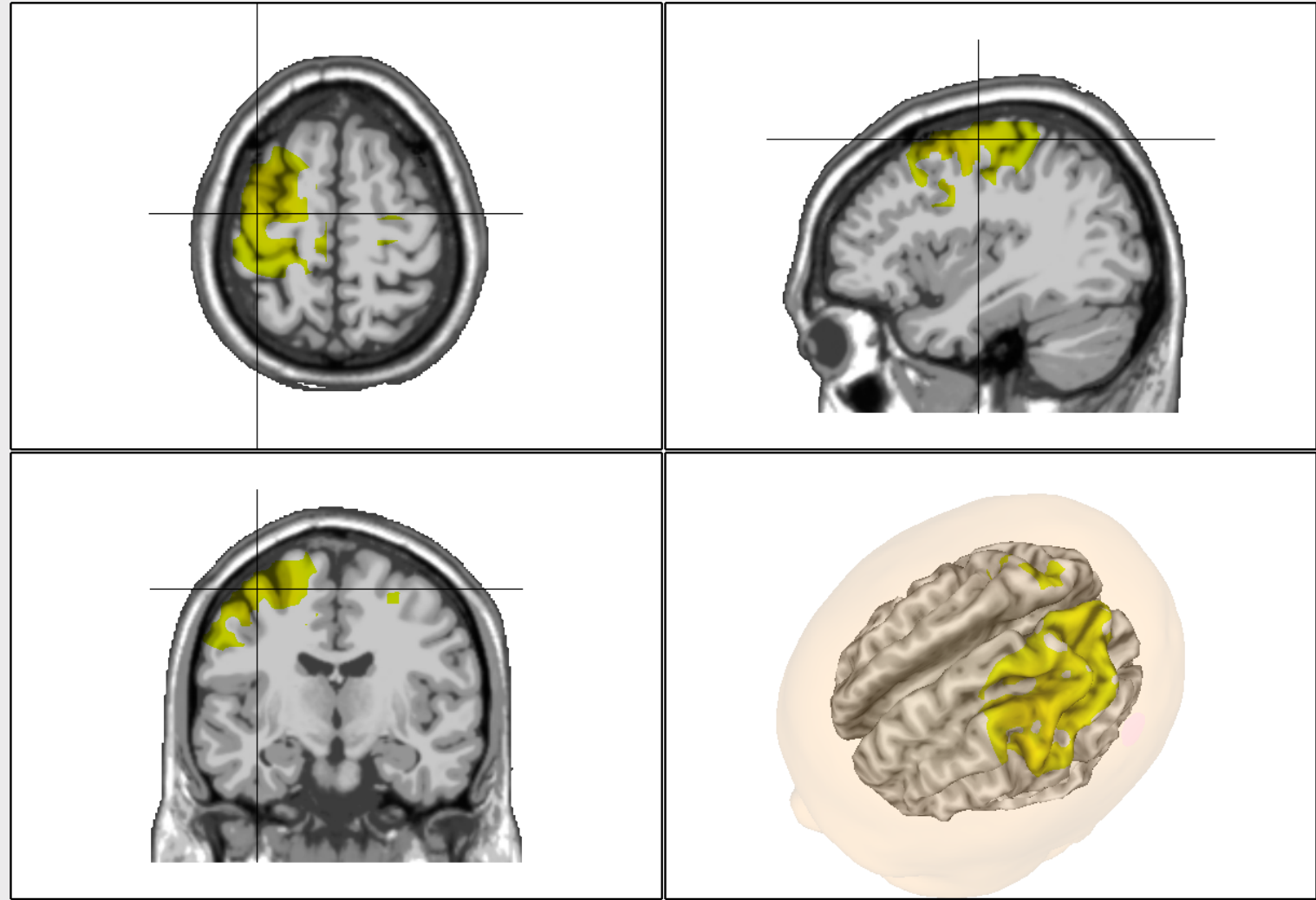


# TDAH Patient n°2 :

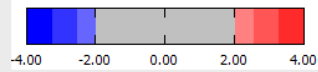


## Augmentation des ondes alpha en sensori-moteur G (>2DS)

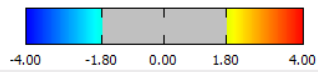
[X = -38, Y = -12, Z = 60] mm - Brodmann Area: 6 - Left - Value = 2.00521 - Sample: 10 Hz



© 2016-2018 Applied Neuroscience, Inc.  
Z-Score Electrical Potential



Z-Score CSD



# Le Neurofeedback dans les troubles de l'apprentissage



**Concentration**  
**Mémorisation**  
**Emotions**



# NFB : consolidation des apprentissages

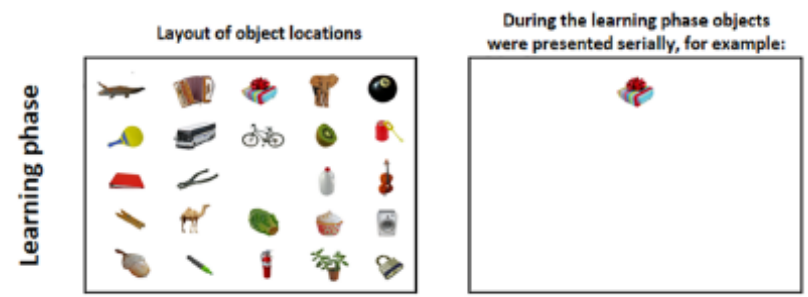
## Modulation intentionnelle des ondes Theta ( $\delta$ 3-7 Hz)

Paradigme de Shtoots et al. 2020 :

- **Objectif :**

- Etudier effet d'une séance de Neurofeedback de 30 mn **après** une tâche de **mémorisation visio-spatiale**.
- Réévaluation à une semaine.

Associer un objet à une localisation sur un écran



- **Méthode :** 3 groupes de 18 volontaires

- Groupe **NFB "Theta"** : augmenter l'activité des ondes Theta (3-7 Hz).
- Groupe **NFB "Béta"** : augmenter l'activité des ondes Béta (15-18 Hz).
- Groupe contrôle **"No NFB"** : Pas d'intervention Neurofeedback.

**The Effects of Theta EEG Neurofeedback on the Consolidation of Spatial Memory**

Limor Shtoots<sup>1</sup>, Tom Dagan<sup>1</sup>, Josh Levine<sup>1</sup>, Aryeh Rothstein<sup>1</sup>, Liran Shati<sup>1</sup>, and Daniel A. Levy<sup>1</sup>

Clinical EEG and Neuroscience 1-7  
© EEG and Clinical Neuroscience Society (ECNS) 2020  
Article reuse guidelines: [sagepub.com/journals-permissions](https://sagepub.com/journals-permissions)  
DOI: 10.1177/1550059420973107  
[journals.sagepub.com/home/eeg](https://journals.sagepub.com/home/eeg)



# NFB : consolidation des apprentissages

## Modulation intentionnelle des ondes Theta ( $\delta$ 3-7 Hz)

Paradigme de Shtoots et al. 2020 :


- **Résultats :**


- Seul groupe « NFB Theta » a montré une amélioration des performances de mémorisation visio-spatiale.
- Moins d'erreurs et accélération du temps de réponse.

- **Conclusion :**

- Augmentation volontaire des ondes Theta immédiatement après un apprentissage semble renforcer sa consolidation.

**The Effects of Theta EEG Neurofeedback on the Consolidation of Spatial Memory**

Limor Shtoots<sup>1</sup>, Tom Dagan<sup>1</sup>, Josh Levine<sup>1</sup>, Aryeh Rothstein<sup>1</sup>, Liran Shati<sup>1</sup>, and Daniel A. Levy<sup>1</sup> 

Clinical EEG and Neuroscience  
1-7  
© EEG and Clinical Neuroscience  
Society (ECNS) 2020  
Article reuse guidelines:  
sagepub.com/journals-permissions  
DOI: 10.1177/1550059420973107  
journals.sagepub.com/home/eeg  




# NFB : consolidation des apprentissages

## Modulation intentionnelle des ondes Theta ( $\delta$ 3-7 Hz)

### Paradigme de Rozengurt et al. 2016 :

- **Objectif :**

- Apprécier l'effet sur les **performances motrices** d'une séance de NFB (Up Theta) immédiatement **après** l'apprentissage d'une séquence motrice (clavier).

- **Méthode :** 2 groupes de 25 volontaires

- Groupe NFB "**Theta**" : augmenter l'activité des ondes Theta (3-7 Hz).
- Groupe NFB "**Béta**" : augmenter l'activité des ondes Béta (15-18 Hz).





# NFB : consolidation des apprentissages

## Modulation intentionnelle des ondes Theta ( $\delta$ 3-7 Hz)

Paradigme de Rozengurt et al. 2016 :

• Résultats :

- Performances du groupe **NFB-Theta** > au groupe **NFB-Béta**.
- Seules les performances du groupe **NFB-Béta** déclinent avec le temps (à J7).

*Psychophysiology*, 53 (2016), 965–973. Wiley Periodicals, Inc. Printed in the USA.  
 Copyright © 2016 Society for Psychophysiological Research  
 DOI: 10.1111/psyp.12656

**SFR** Theta EEG neurofeedback benefits early consolidation of motor sequence learning  
 ROMAN ROZENGURT,<sup>a,b,c</sup> ANAT BARNEA,<sup>b</sup> SUNAO UCHIDA,<sup>c</sup> AND DANIEL A. LEVY<sup>a</sup>

Neurofeedback consolidation of motor learning

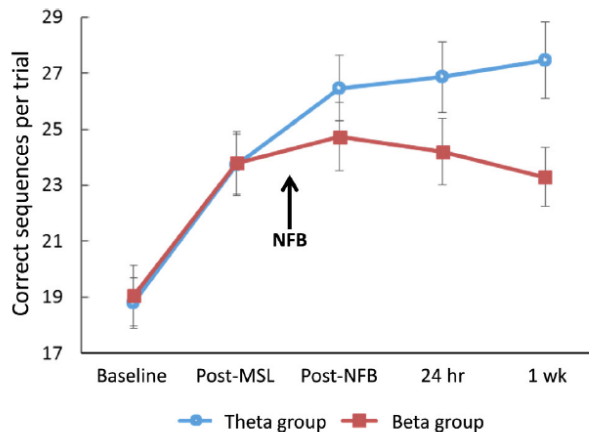


Figure 2. Motor sequence learning mean performance scores during each block of each stage of the experiment, for theta and beta NFB groups. Brackets indicate SEMs.

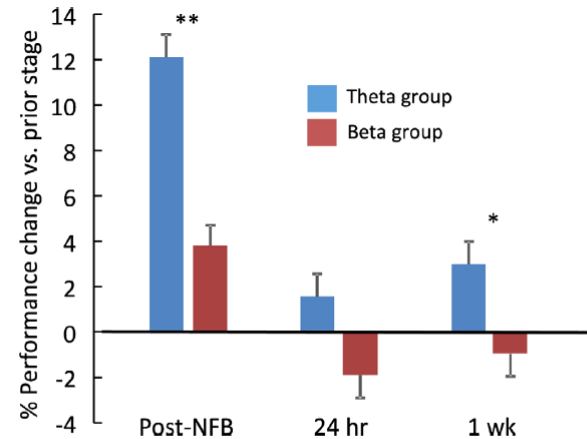


Figure 3. Motor sequence learning percent change scores over the post-NFB stages of the experiment, for theta and beta NFB groups. Asterisks between arrows indicate significant differences between groups in change over stages. \*\* $p < .01$ ; \* $p < .05$ .



# Le Neurofeedback dans les troubles de l'apprentissage



Quelle place donner au Neurofeedback dans les troubles de l'apprentissage ?

## ➤ Peut-on proposer le NFB dans la prise en charge des troubles de l'apprentissage ?

---

- Faisceaux arguments neurophysiologiques et cliniques en faveur de son utilisation.
- Corpus études cliniques avec **groupe contrôle, méta-analyses** (principalement dans le trouble de l'attention).
- Un effet spécifique sur la plasticité cérébrale & la connectivité intracérébrale.
- Un effet qui dépasse le simple effet placebo.
- Effet motivationnel : **patient actif**, aspect ludique, objectivité des mesures physiologiques.

## ➤ Oui mais avec des restrictions & limitations...

### 1) NFB ne doit pas être proposé seul !

- Le Neurofeedback n'est pas une thérapie en soi.
- C'est un outil parmi les autres outils de remédiations cognitives du neuropsychologue.
- Un outil *potentialisateur de plasticité cérébrale*.
  - 20mn de NFB dynamisent la connectivité cérébrale pendant 1h.
- **Analogie de l'apprentissage du vélo :**

#### Neurofeedback :

apprentissage de l'autorégulation de l'attention, des émotions.  
= **apprendre à faire du vélo.**



#### Psychologue :

guide le patient dans l'utilisation de ses nouvelles facultés attentionnelles avec les autres outils/exerc de remédiations.  
= **prendre le bon chemin sur son vélo**



# Neurofeedback & troubles de l'apprentissage

➤ Oui mais avec des restrictions & limitations...

## 1) NFB ne doit pas être proposé seul ! +

- Idéalement à intégrer **précocement** dans une prise en charge **pluridisciplinaire** du TDAH/syndrome dys/anxiété mathématique etc...
- Ex. Intégrer séance de NFB/BFB au sein d'une consultation du psychologue (immédiatement **avant ou après des exercices de remédiations cognitives**).
- Prise en charge personnalisée (Krepel et al. 2020)

Krepel et al. 2020 A multicenter effectiveness trial of QEEG-informed neurofeedback in ADHD: Replication and treatment prediction. NeuroImage: Clinical 28 102399

# Neurofeedback & troubles de l'apprentissage

➤ Oui mais avec des restrictions & limitations...

## 1) NFB ne doit pas être proposé seul ! +

- **Ex. d'intégration en consultation de psychologie**
  - 20 mn de NFB/BFB pour réduire le stress **puis** exercices de remédiations cognitives.
  - 20 mn de NFB pour dynamiser la connectivité des réseaux attentionnels (Up SMR) **puis** exercices de remédiations cognitives.
  - 20 mn de NFB **après** des exercices de remédiations cognitives pour consolidation des apprentissages.  
(Protocole Up Theta mediofrontal si pas trouble attention)

➤ Mais avec des restrictions & limitations...

---

## 2) Nombre de séances, protocoles ?

- **Débuter** par des protocoles classiques, *éprouvés cliniquement depuis des années* type SMR ou theta/beta.
- Effet potentiel du NFB rapidement visible et/ou verbalisé (**en 5 à 10 séances maxi**).
- **Si pas/peu effet :**
  - **Arrêt des séances de Neurofeedback !**
  - ou **changer de modalité** de biofeedback (AED, HRV)
  - ou évaluation activité cérébrale : EEG Quantitatif **avec** analyse inverse des sources EEG **et** étude connectivité fonctionnelle.

➤ Mais avec des restrictions & limitations...

---

## 2) Nombre de séances, protocoles ?

- Nombre de séances et espacement des séances de rappel (consolidation) à **définir au cas par cas**.
- Notions de cognition incarnée et de « state dependent learning/ state dependent memory ».
- Importance de **développer l'intéroception** pour faciliter le transfert des habiletés dans la vie quotidienne.

➤ Oui mais avec des restrictions & limitations...

---

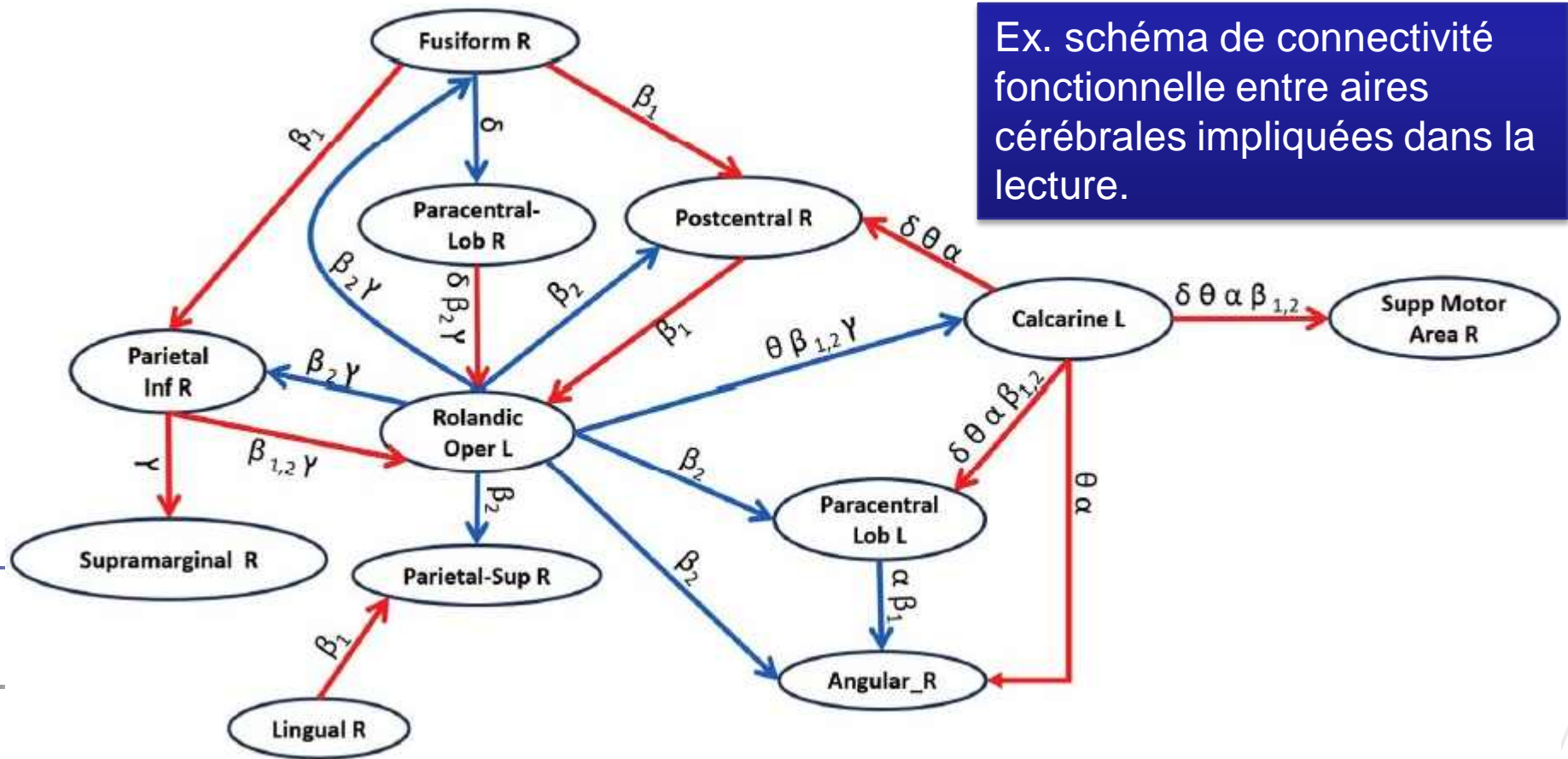
## 3) Pas d'exercice de lecture/écriture simultanément au Neurofeedback !...

- Car 1/ **ubiquités des artéfacts musculaires...**
  - Trop de mouvements visage pendant lecture.
- Car 2/ lecture et écriture impliquent la **connectivité d'aires cérébrales très distantes...** (ex. BA45 et BA40)
  - Chercher à renforcer une activité EEG sur une seule aire cérébrale peut potentiellement perturber la dynamique de connectivité naturelle pendant le processus complexe de lecture.



# Neurofeedback & troubles de l'apprentissage

- Lecture implique la connectivité d'aires cérébrales distantes dans des directions et gammes ondes différentes ( $\delta, \alpha, \beta, \theta$  etc...)

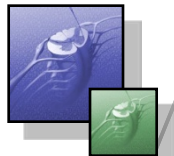


Bosch-Bayarda et al. 2020 Resting EEG effective connectivity at the sources in developmental dysphonetic dyslexia. Differences with non-specific reading delay. International Journal of Psychophysiology 153 (2020) 135-147

# Le Neurofeedback dans les troubles de l'apprentissage



**Concentration**  
**Mémorisation**  
**Emotions**



➤ Mais avec des restrictions & limitations...

## 4) Cognition & émotions !

- Effet positif régulation émotionnelle sur l'attention.

Action indirecte par régulation de l'arousal (Morris 2019; Odle 2016; Musser 2011)

### Emotion Regulation via the Autonomic Nervous System in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): Replication and Extension

Stephanie S. J. Morris<sup>1</sup> • Erica D. Musser<sup>1</sup> • Rachel B. Tenenbaum<sup>1</sup> • Anthony R. Ward<sup>1,2</sup> • Jessica Martinez<sup>1</sup> • Joseph S. Raiker<sup>1</sup> • Erika K. Coles<sup>1</sup> • Cameron Riopelle<sup>3</sup>

- **Morris et al. (2019)** Emotion Regulation via the Autonomic Nervous System in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): Replication and Extension. *J Abnorm Child Psychol* (2019)
- **Odle et al. (2016)**. Anticipatory Electrodermal Response as a Differentiating Somatic Marker Between Children with ADHD and Controls. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 41(4), 375-380.
- **Musser et al. (2011)**. Emotion regulation via the autonomic nervous system in children with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Journal of Abnormal Child Psychology*, 39(6), 841-852.
- **O'Connell et al. (2004)**. Reduced electrodermal response to errors predicts poor sustained attention performance in attention deficit hyperactivity disorder. *Neuroreport*, 15(16), 2535-2538.
- **Mangeot et al. (2001)**. Sensory modulation dysfunction in children with attention-deficit-hyperactivity disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 43(6), 399-406.

Check  
up

➤ Mais avec des restrictions & limitations...

---

## 4) Cognition & émotions !

- Effet positif régulation émotionnelle sur l'attention.
- Faire du BFB c'est aussi agir sur son cerveau....
- **Biofeedback HRV** (Slow breathing, parasympathique)  
et **Biofeedback Electrodermal** (sympathique)
  - facile à mettre en place.
  - peu d'artéfacts
- Tous deux augmentent l'activité des **cortex préfrontaux ventromédians**.

# Activité corticale pendant BFB AED

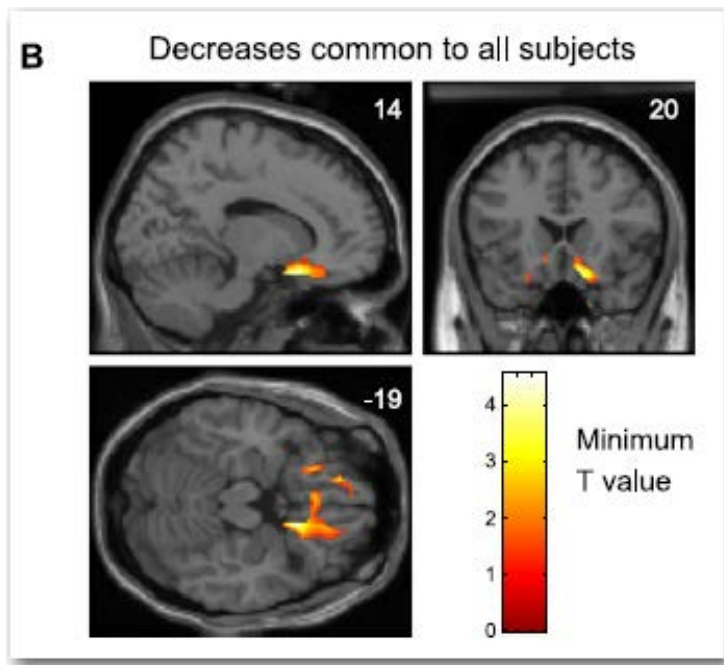
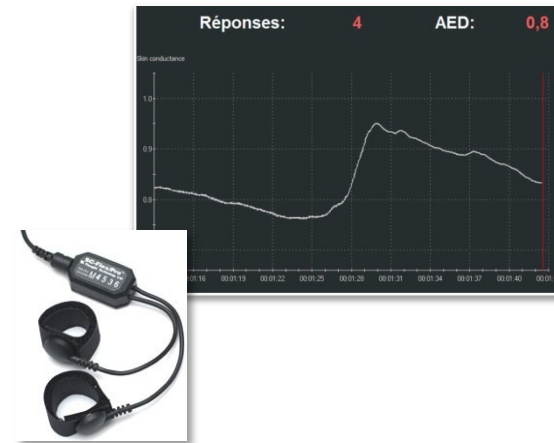
  
ELSEVIER

NeuroImage  
www.elsevier.com/locate/ynimg  
NeuroImage 22 (2004) 243–251

**Activity in ventromedial prefrontal cortex covaries with sympathetic skin conductance level: a physiological account of a “default mode” of brain function**

Y. Nagai,<sup>a,\*</sup> H.D. Critchley,<sup>b</sup> E. Featherstone,<sup>b</sup> M.R. Trimble,<sup>a</sup> and R.J. Dolan<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Clinical and Experimental Epilepsy, Institute of Neurology, Queen Square, London WC1N, UK  
<sup>b</sup> Wellcome Department of Imaging Neuroscience, Institute of Neurology, UCL, Queen Square, London WC1N 3BG, UK



Activité du **cortex préfrontal ventromédian** augmentée lors descente volontaire de l'AED.

Nagai et al. 2004 Activity in ventromedial prefrontal cortex covaries with sympathetic skin conductance level: a physiological account of a "default mode" of brain function. Neuroimage. 2004 May;22(1):243-51.

# Activité corticale & BFB HRV

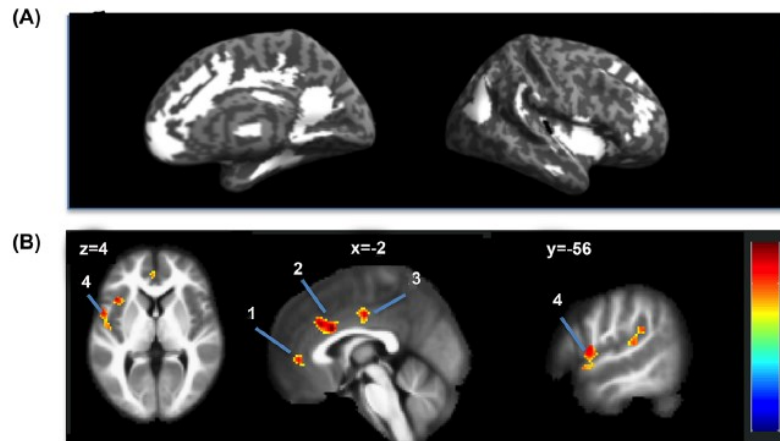
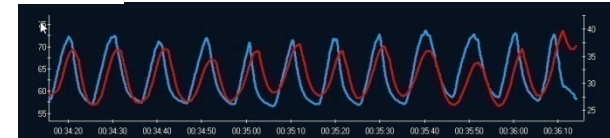
*Psychophysiology*, 53 (2016), 444–454. Wiley Periodicals, Inc. Printed in the USA.  
Copyright © 2015 Society for Psychophysiological Research  
DOI: 10.1111/psyp.12586



## Resting state connectivity of the medial prefrontal cortex covaries with individual differences in high-frequency heart rate variability

J. RICHARD JENNINGS,<sup>a,b</sup> LEI K. SHEU,<sup>b</sup> DORA C-H. KUAN,<sup>b</sup> STEPHEN B. MANUCK,<sup>b</sup> AND PETER J. GIANAROS<sup>b</sup>

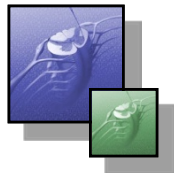
<sup>a</sup>Department of Psychiatry, University of Pittsburgh School of Medicine, Pittsburgh, Pennsylvania, USA  
<sup>b</sup>Department of Psychology, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USA



- Cortex préfrontal ventromédian
  - Cortex cingulaires prégenoual, dorsal, médial.
- Gyrus temporal gauche.
- Insula.

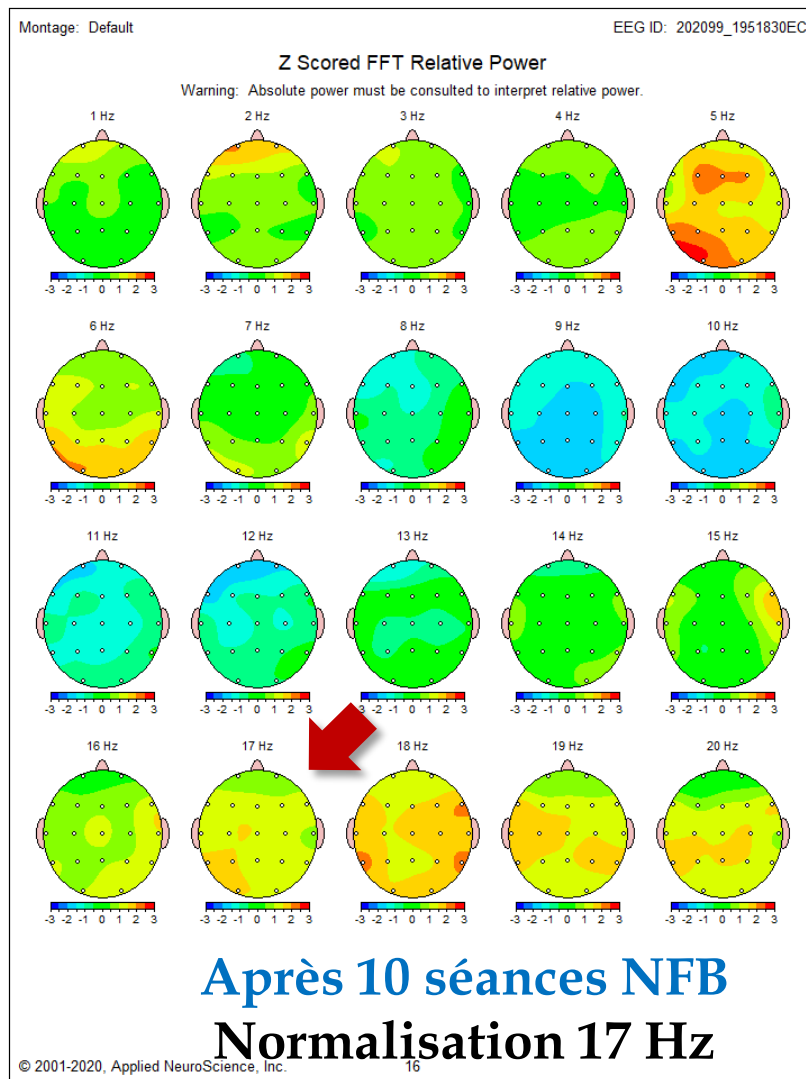
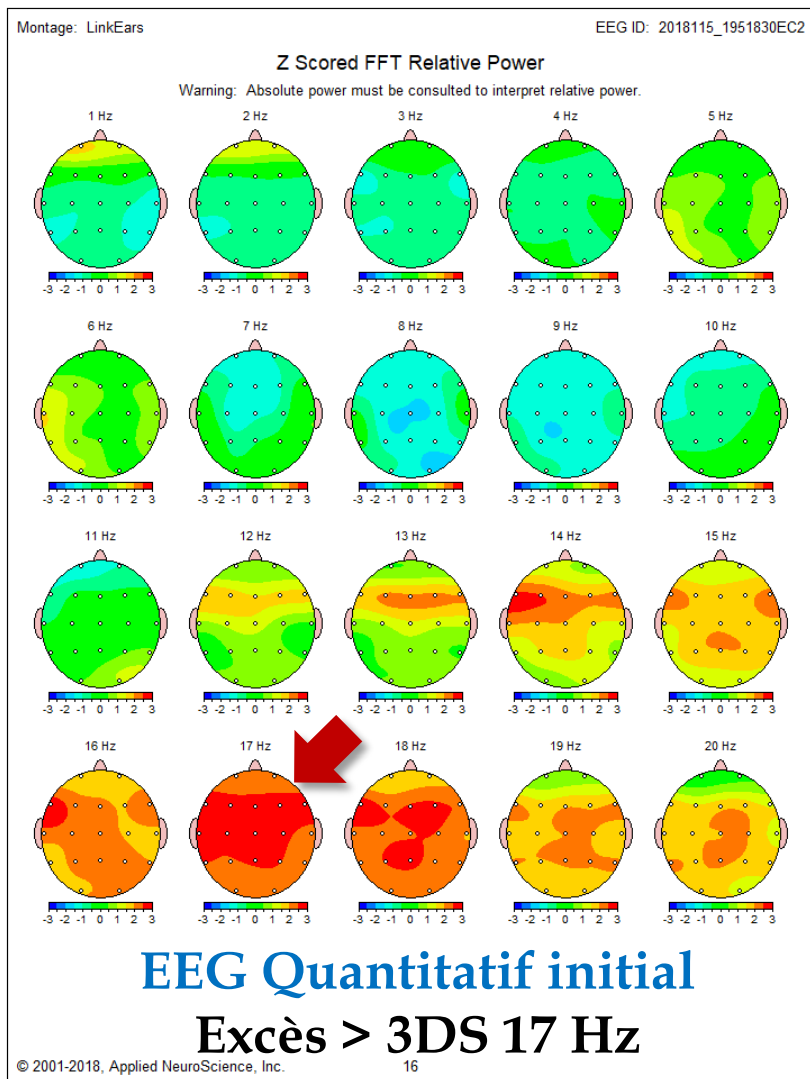
Figure 4. A: ROI search regions (white): combined DMN and SN, # of voxels = 27,959, voxel size = 2 mm<sup>3</sup>. B: Regions in which the connectivity with mPFC seed at rest associated with high-frequency heart rate variability (threshold at  $t > 2.34$ ,  $p < .01$ ); the associations were tested with a false positive detection rate of  $\alpha = .05$  (corrected threshold using 3dClustSim). The regions shown are (1) pgACC, (2) dACC, (3) MCC, and (4) left temporal gyrus extending into the left insula. See Table 2 for detailed coordinates.

Jennings JR, et al. 2016. Resting state connectivity of the medial prefrontal cortex covaries with individual differences in high-frequency heart rate variability. *Psychophysiology*.

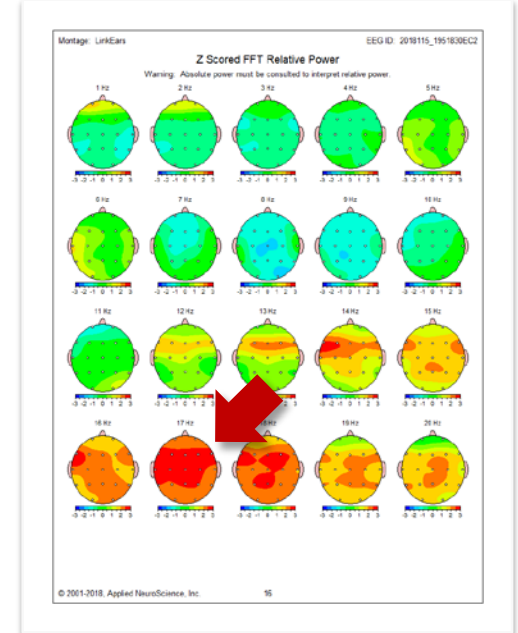
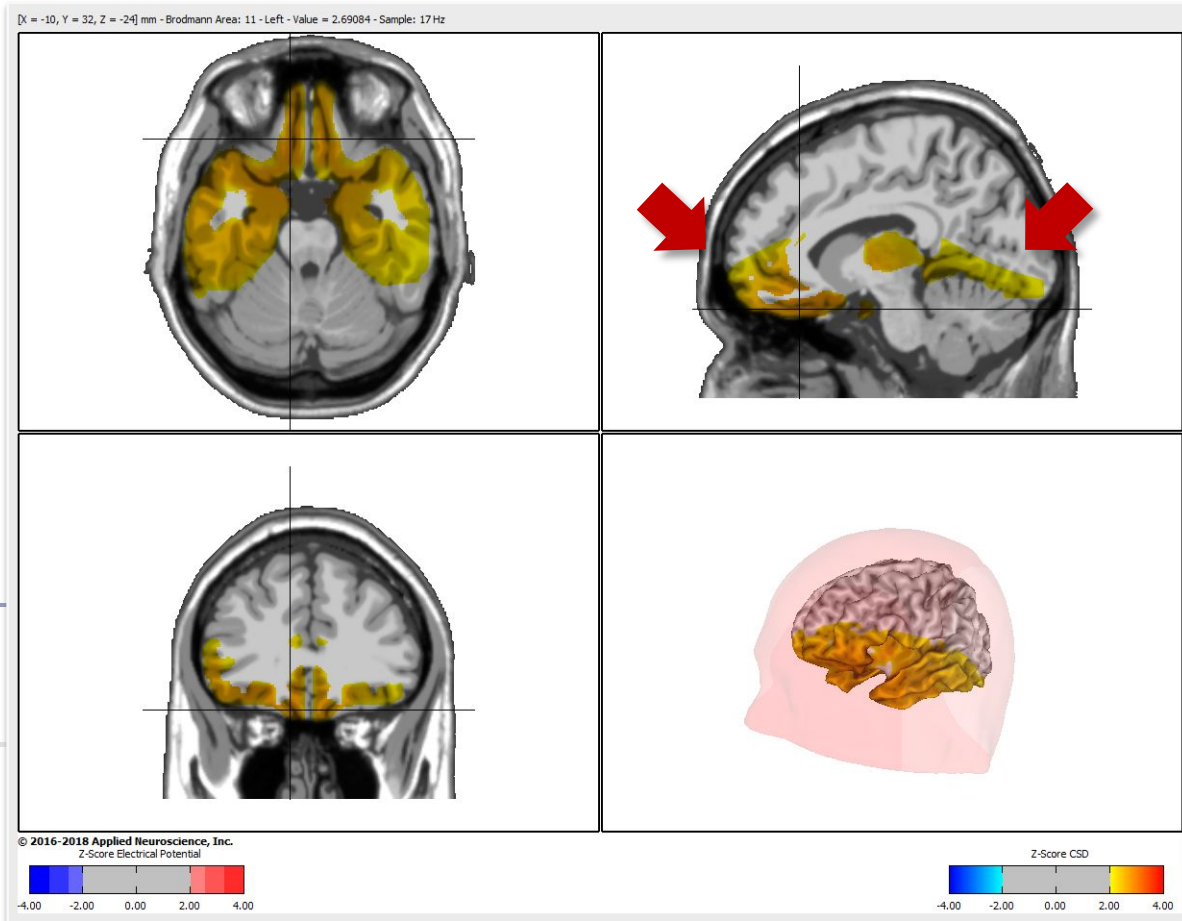


# Avant-après entraînement NFB

40 ans, migraines sévères, anxiété, troubles mémorisation



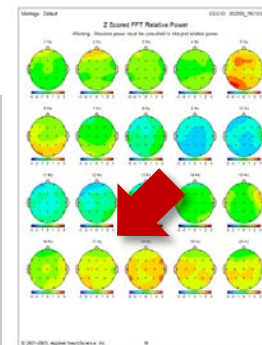
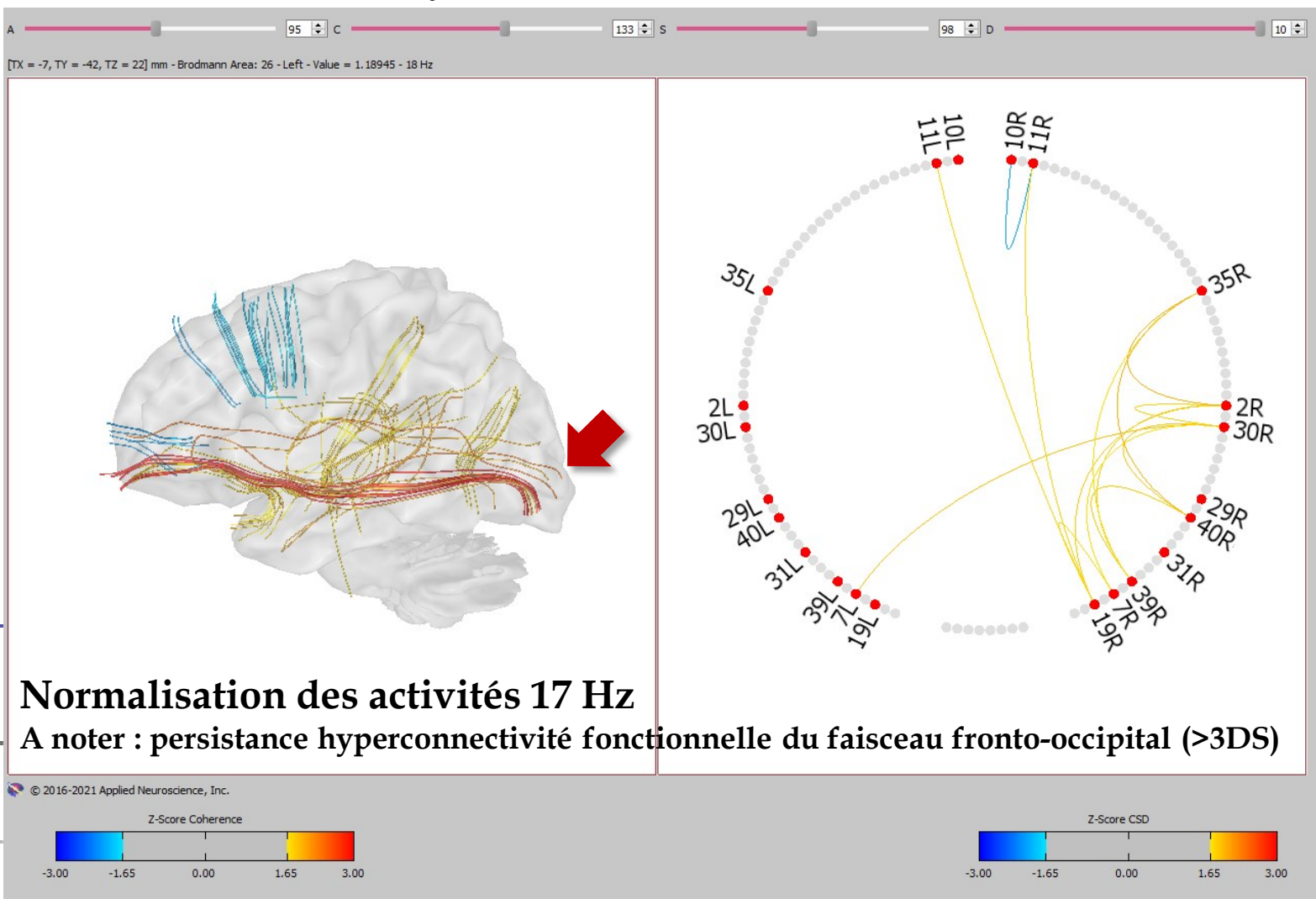
## Cartographie 3D initiale Analyse inverse swLORETA





# Avant-après entraînement NFB

## Cartographie 3D après 10 séances de Neurofeedback Analyse inverse swLORETA



**Normalisation des activités 17 Hz**

**A noter : persistance hyperconnectivité fonctionnelle du faisceau fronto-occipital (>3DS)**

# Quelle place donner au **NEUROFEEDBACK** dans la prise en charge des troubles de l'apprentissage ?

## **Neurofeedback :**

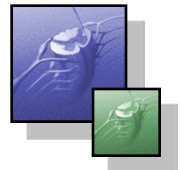
**-Apprentissage de l'autorégulation.**

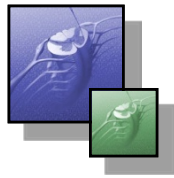
**-Apprendre à contrôler/réguler sa physiologie, ses émotions, son attention.....**

**.... pour mieux apprendre à apprendre.**



Exemple de mise en abyme (wikipedia)





**ATTENTION:** Seules les techniques de Neurofeedback basées sur un ***comportement actif*** du sujet (comportement opérant) disposent d'un niveau de preuves scientifiques suffisant pour être proposées dans le soin. Aussi, les analyses, commentaires et propositions de protocoles d'entraînement cérébral de cette présentation **NE S'APPLIQUENT EN AUCUNE FAÇON** au "Neurofeedback Dynamique" (ou Neurooptimal™) !!