Introduction à la conception expérimentale

Nicolas Farrugia

UE SHS, Neurosciences et Musique, 2024

https://github.com/nicofarr/exp-design

Séances de l'UE

1. 16/01 matin : Neurosciences et neuromythes (D. Toquet).
   après-midi : Pratique Musicale (C. Rocher)
2. 23/01 matin : Introduction à la conception expérimentale (N. Farrugia).
   après-midi : Pratique Musicale (C. Rocher)
3. 30/01 Expériences EEG
4. 06/02 matin : Analyse de données EEG (N. Farrugia).
   après-midi : Pratique Musicale (C. Rocher)
5. 13/02 soir : restitution au Cabaret Vauban

Plan

1. Contexte
   - Musique et Neurosciences
   - Méthodes en neurosciences cognitives
   - Electroencéphalographie (EEG)
2. Fondements de la conception expérimentale
   - Notions clés
   - Types de conception expérimentale
3. Exemples
   - Lectures - Musique et Neurosciences cognitives
   - Restitution
4. Projet Brain Songs
   - Travail précédent dans le projet Brain Songs
   - Concevoir votre expérience pour l'Intersemestre
5. Conclusion
   - Wrap-up
   - What's next ?

Plan

1 Contexte
- Musique et Neurosciences
- Méthodes en neurosciences cognitives
- Electroencéphalographie (EEG)

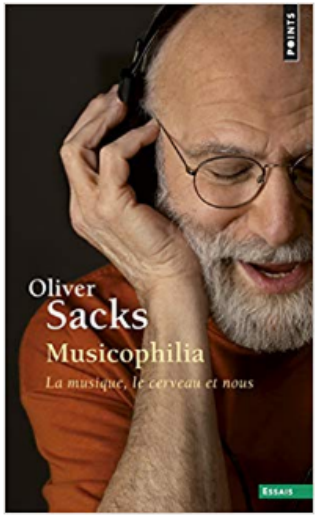
2 Fondements de la conception expérimentale
- Notions clés
- Types de conception expérimentale

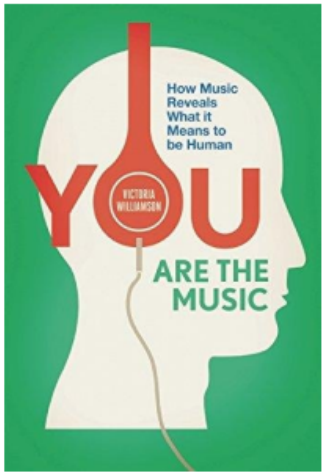
3 Exemples
- Lectures - Musique et Neurosciences cognitives
- Restitution

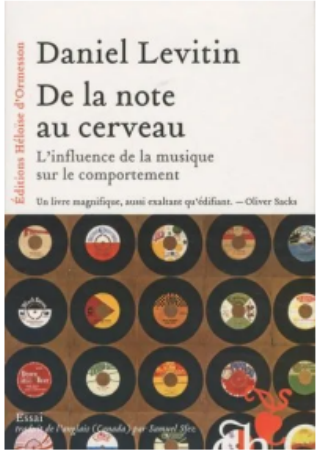
4 Projet Brain Songs
- Travail précédent dans le projet Brain Songs
- Concevoir votre expérience pour l'Intersemestre

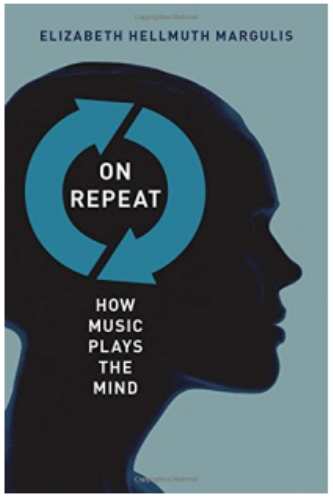
5 Conclusion
- Wrap-up
- What's next ?

Neuroscience et musique



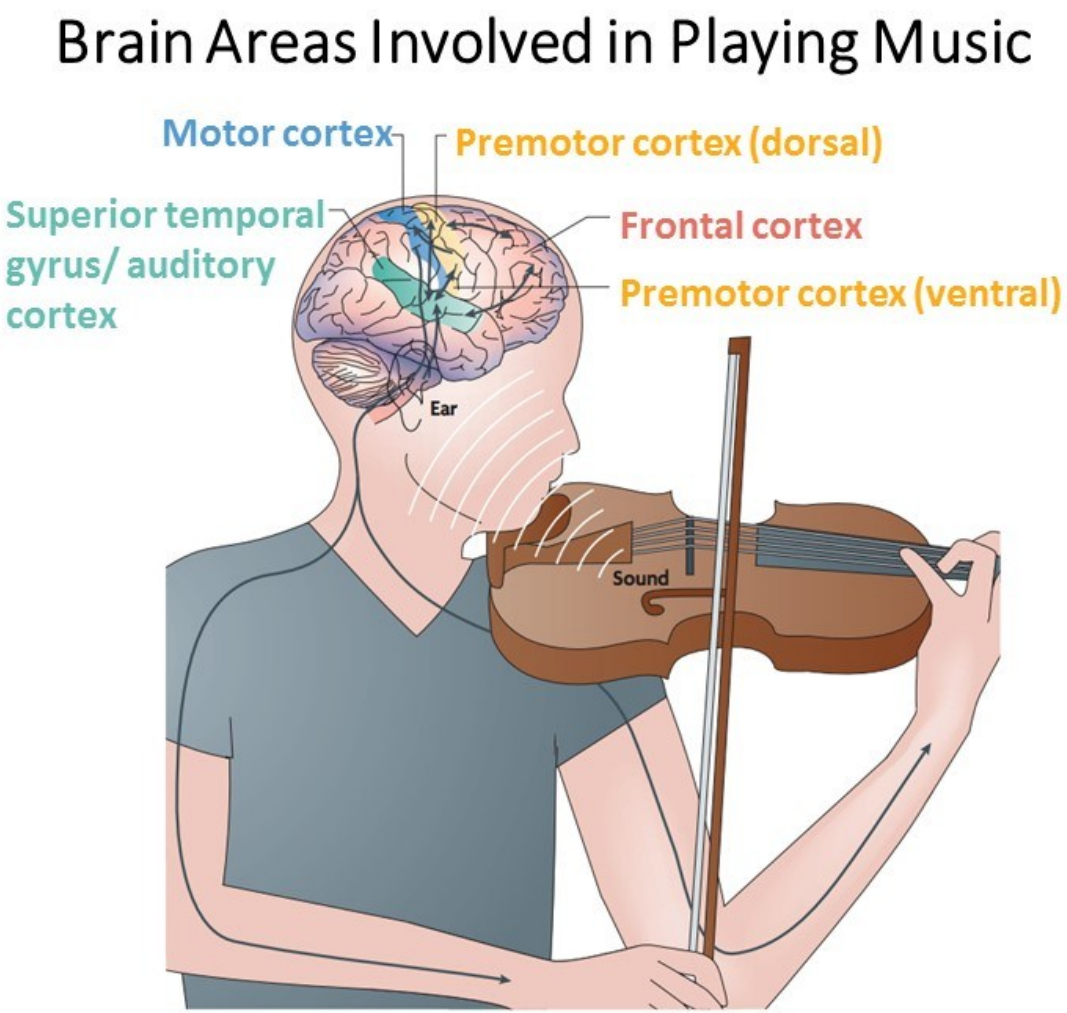






Neuroscience et musique

La musique stimule un vaste réseau cérébral



Source: Zatorre et al. (2007). When the brain plays music: auditory–motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, *8*(7), 547-558.

Musique et plasticité

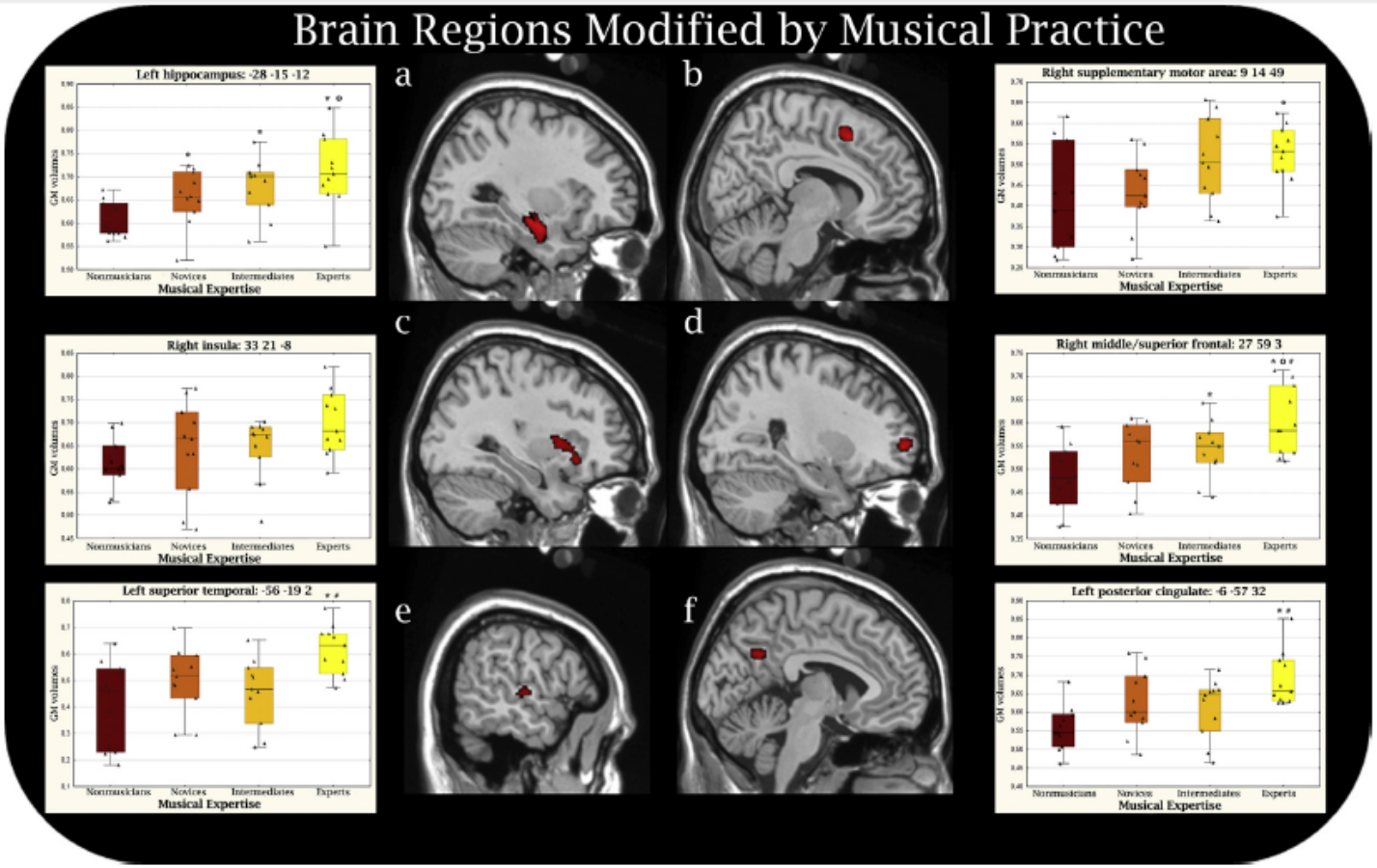
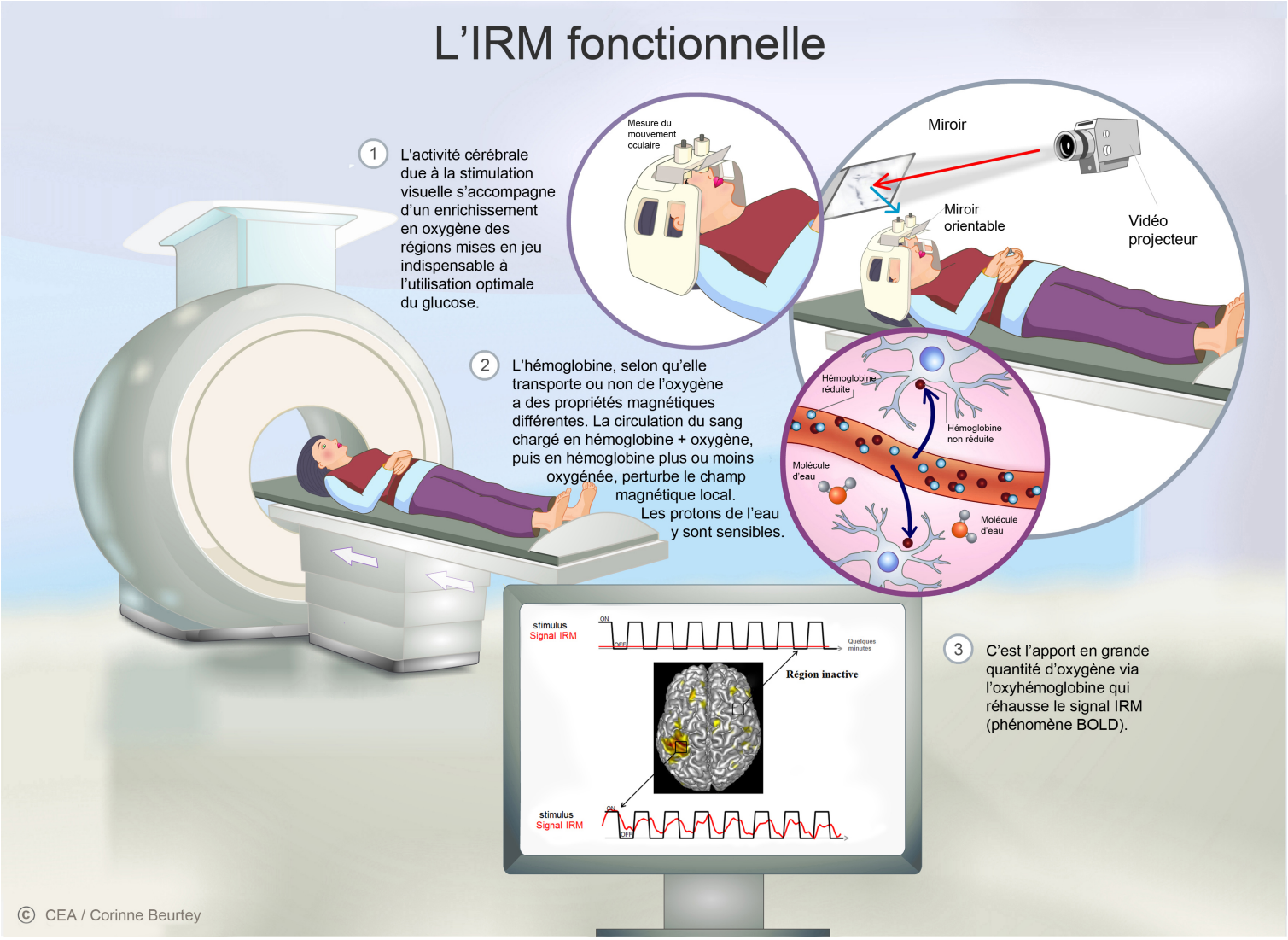


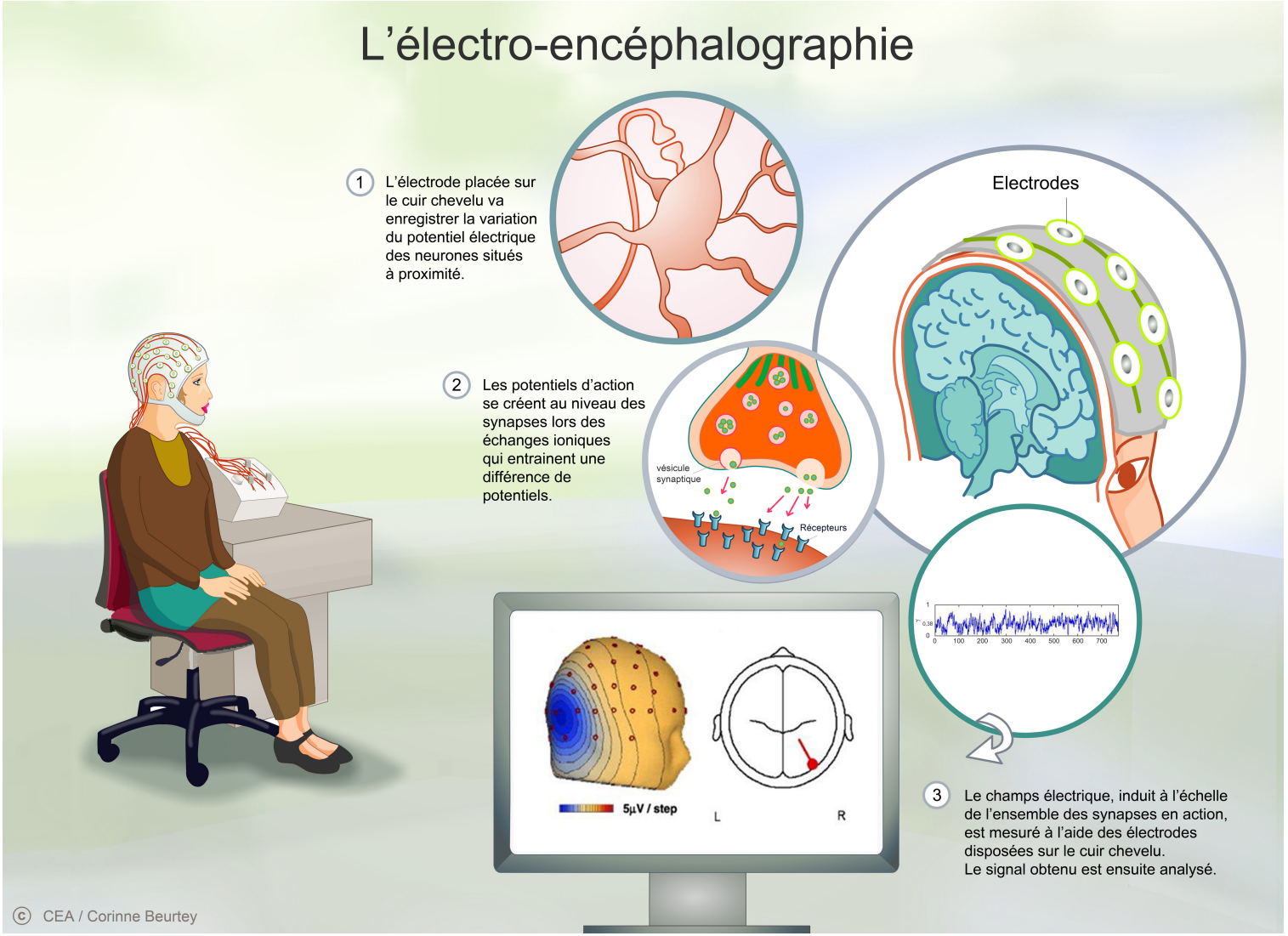
Fig. 1. Brain areas in which grey matter density changed with musical expertise. Results displayed the brain areas with significant positive correlation at $p < .001$ uncorrected for multiple comparisons and cluster size $k > 110$ between the duration of musical practice and GM volumes (controlling for age, educational level and TIV) and boxplot representations of GM volumes of (a) the left hippocampus, (b) right supplementary area, (c) right insula, (d) right superior and middle frontal cortex, (e) left superior temporal cortex and (f) left posterior cingulate cortex for each group. Box plots represent data of each group with quartiles (upper values 75%, median, and lower values 25%). The whiskers show range of the data and blobs raw values. For statistical results of the post hoc 2-by-2 comparisons (Tukey's HSD) only significant differences are shown: * compared with the nonmusician group, o compared with the novice musician group and # compared with the intermediate musician group.

Groussard et al. 2014, Brain and Cognition. See also Giacosa et al. 2016, Neuroimage

Méthodes

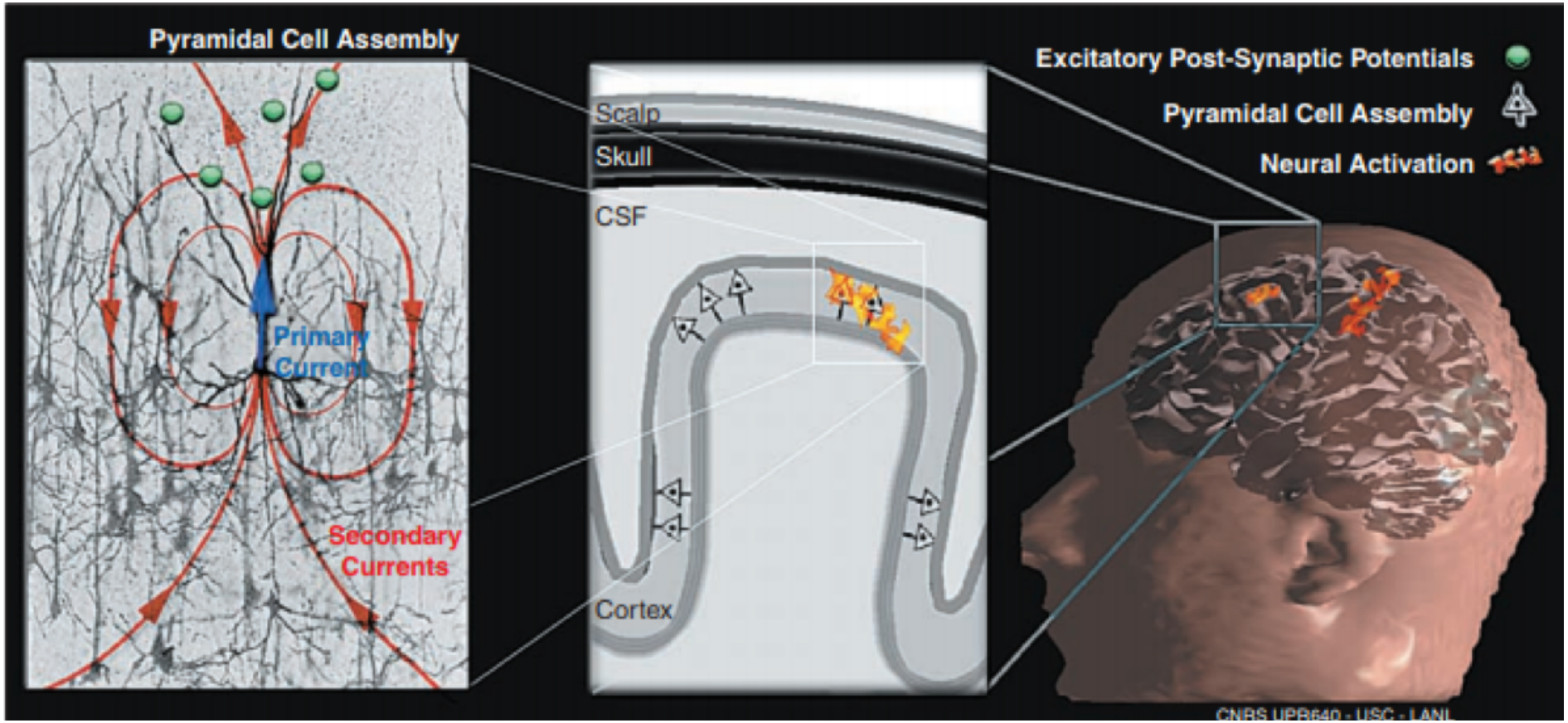

L'IRM fonctionnelle
1 L'activité cérébrale due à la stimulation visuelle s'accompagne d'un enrichissement en oxygène des régions mises en jeu indispensable à l'utilisation optimale du glucose.
Mesure du mouvement oculaire
Miroir
Miroir orientable
Vidéo projecteur
2 L'hémoglobine, selon qu'elle transporte ou non de l'oxygène a des propriétés magnétiques différentes. La circulation du sang chargé en hémoglobine + oxygène, puis en hémoglobine plus ou moins oxygénée, perturbe le champ magnétique local. Les protons de l'eau y sont sensibles.
Hémoglobine réduite
Hémoglobine non réduite
Molécule d'eau
Molécule d'eau
stimulus
Signal IRM
ON
OFF
Quelques minutes
Région inactive
stimulus
Signal IRM
ON
OFF
3 C'est l'apport en grande quantité d'oxygène via l'oxyhémoglobine qui réhausse le signal IRM (phénomène BOLD).
© CEA / Corinne Beurtey

Méthodes


L'électro-encéphalographie
1 L'électrode placée sur le cuir chevelu va enregistrer la variation du potentiel électrique des neurones situés à proximité.
2 Les potentiels d'action se créent au niveau des synapses lors des échanges ioniques qui entrainent une différence de potentiels.
vésicule synaptique
Récepteurs
Electrodes
5µV / step
L
R
3 Le champs électrique, induit à l'échelle de l'ensemble des synapses en action, est mesuré à l'aide des électrodes disposées sur le cuir chevelu.
Le signal obtenu est ensuite analysé.
© CEA / Corinne Beurtey

Electroencéphalographie (EEG)

Une vue d'ensemble de l'origine (probable) de l'EEG.

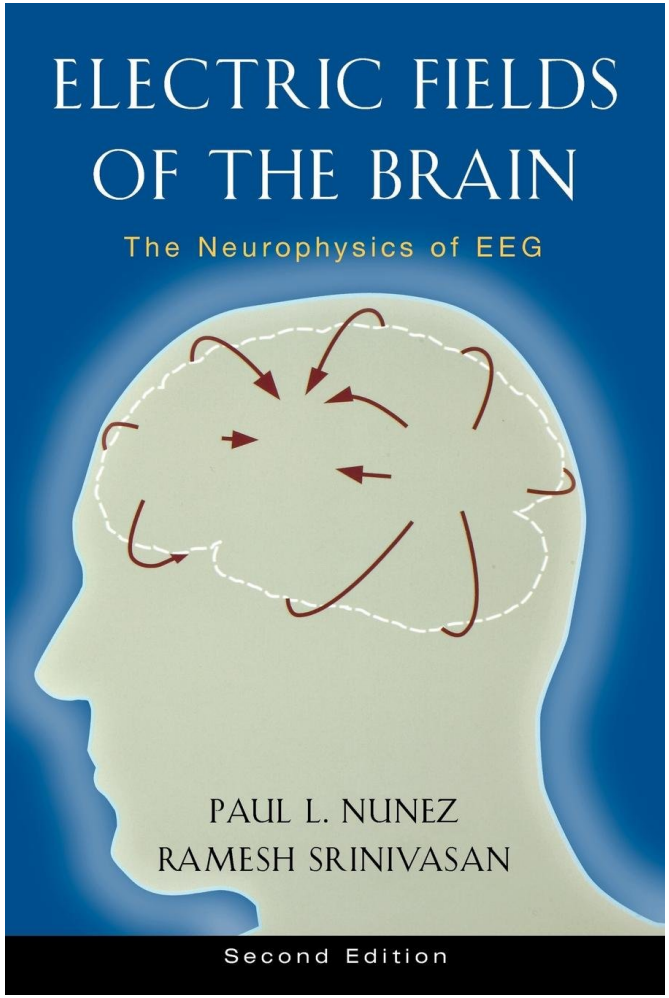


Baillet, Sylvain, John C. Mosher, and Richard M. Leahy. "Electromagnetic brain mapping." IEEE Signal processing magazine 18.6 (2001): 14-30.

Electroencéphalographie (EEG)

Quelques caractéristiques clés de l'EEG

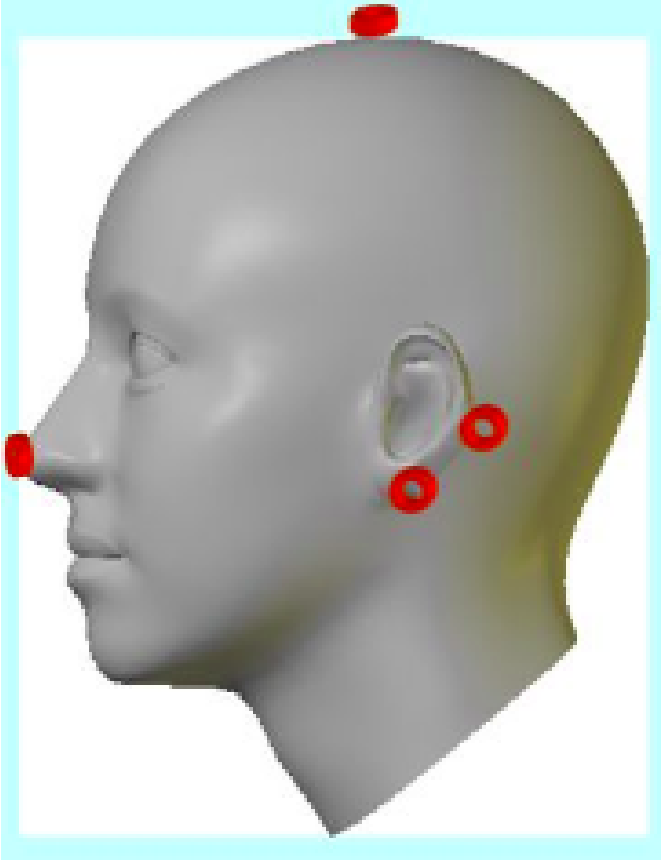
- Tension (V) entre une électrode sur le cuir chevelu et une référence
- Propagation du champ électrique dans plusieurs milieux
- Signal résultant de l'activité coordonnée de groupes de millons de neurones
- De 0.1 à 100 Hz, de l'ordre de 0.025 à 0.1 mV
- Très sensible aux artefacts



Acquisition et prétraitement de l'EEG

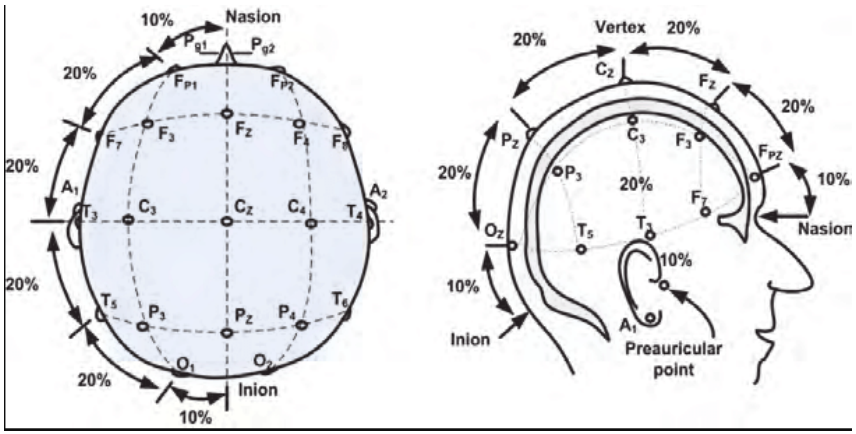
Choix d'une référence:

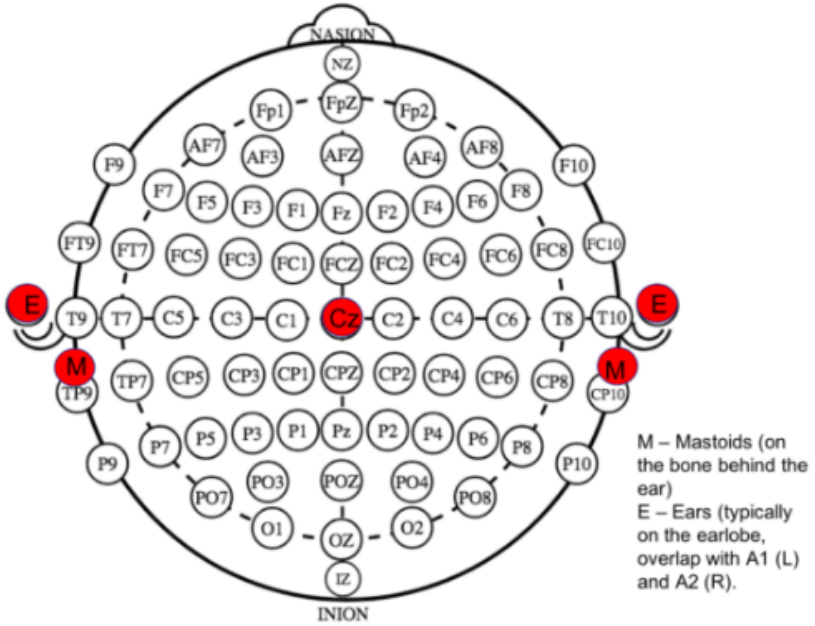
- L'EEG mesure une différence de potentiel entre deux points
- Idéal (mythe!) : référence "silencieuse" (cf. Nunez)
- Nasion, mastoïdes, lobes, Cz, moyenne des électrodes, ...



Acquisition et prétraitement de l'EEG

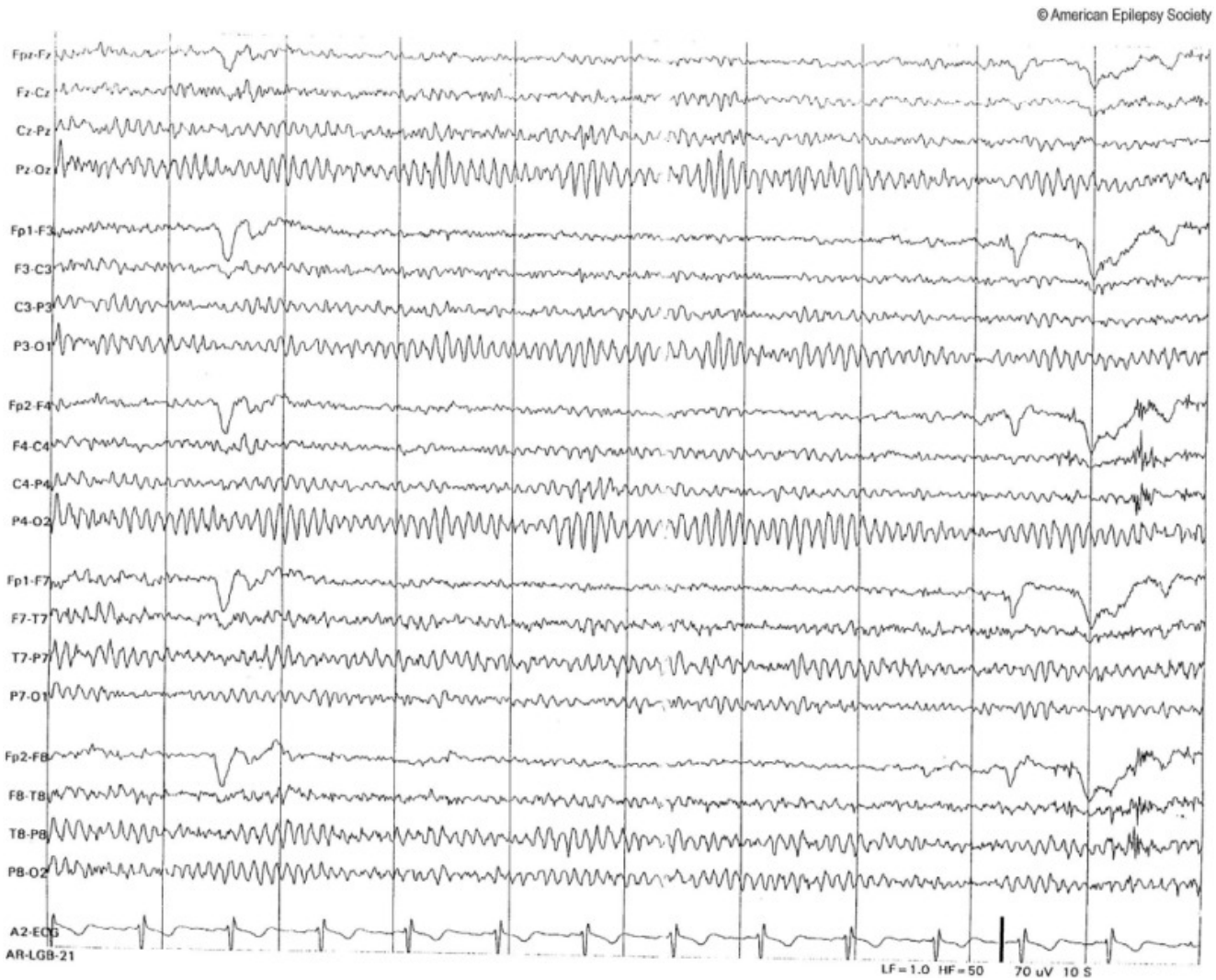
Le système 10-20 de placement d'électrodes:





Acquisition et prétraitement de l'EEG

Exemple d'enregistrement

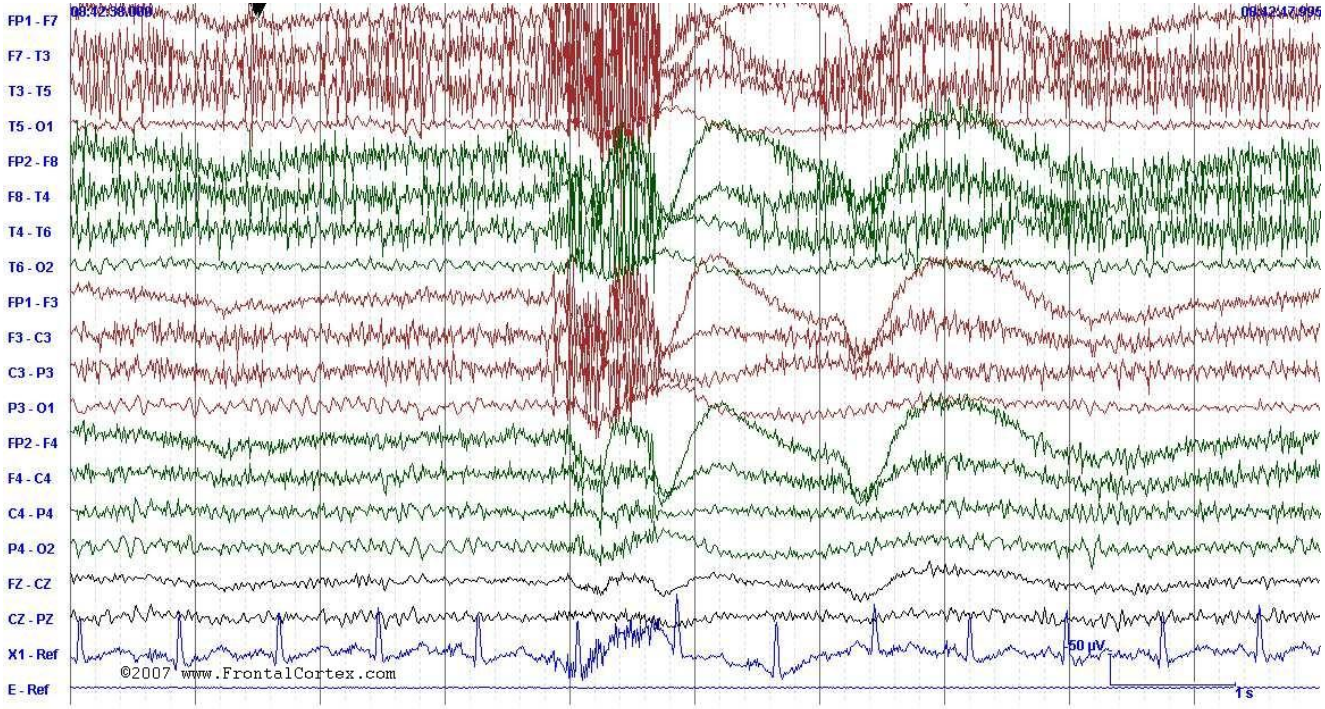


Electroencephalography (EEG): An Introductory Text and Atlas of Normal and Abnormal Findings in Adults, Children, and Infants

Acquisition et prétraitement de l'EEG

Prétraitements usuels

1. Re-référencement
2. Suppression de segments largement bruités
3. Suppression de dérive de basse fréquence (filtre passe-haut)
4. Détection et suppression d'artefacts

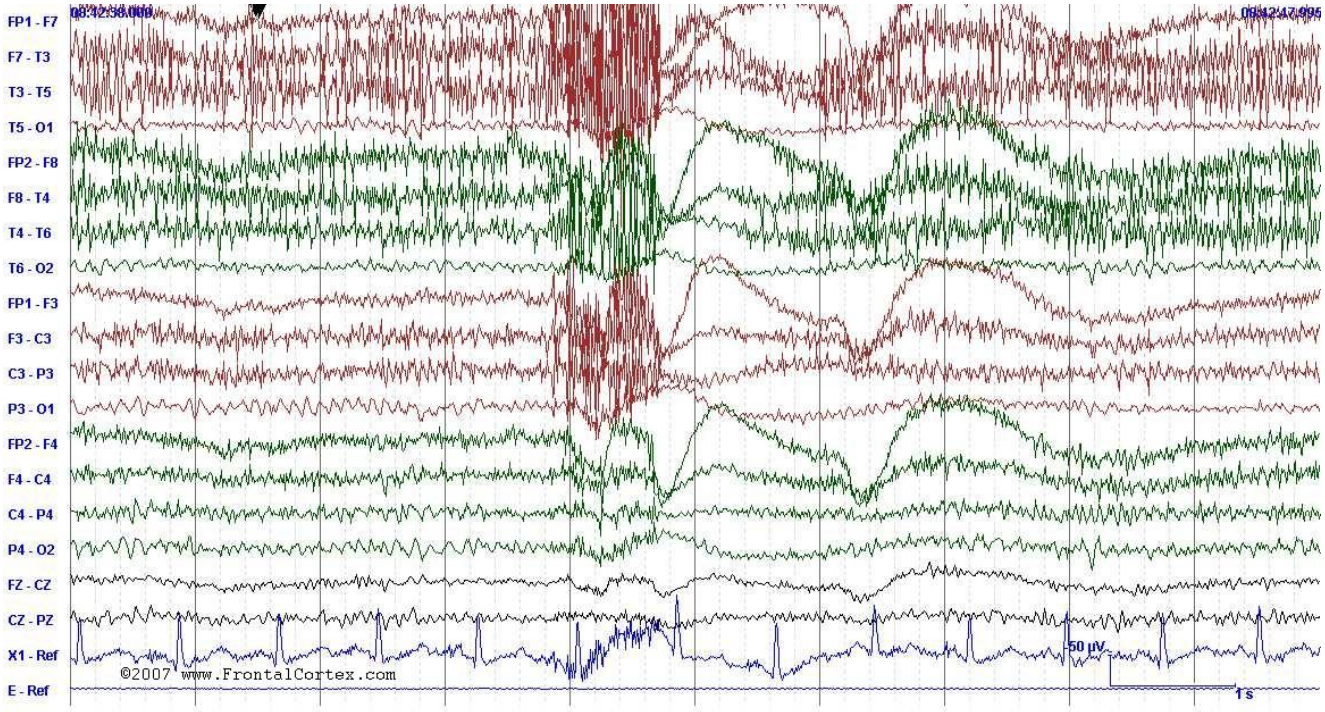


FrontalCortex.com

Acquisition et prétraitement de l'EEG

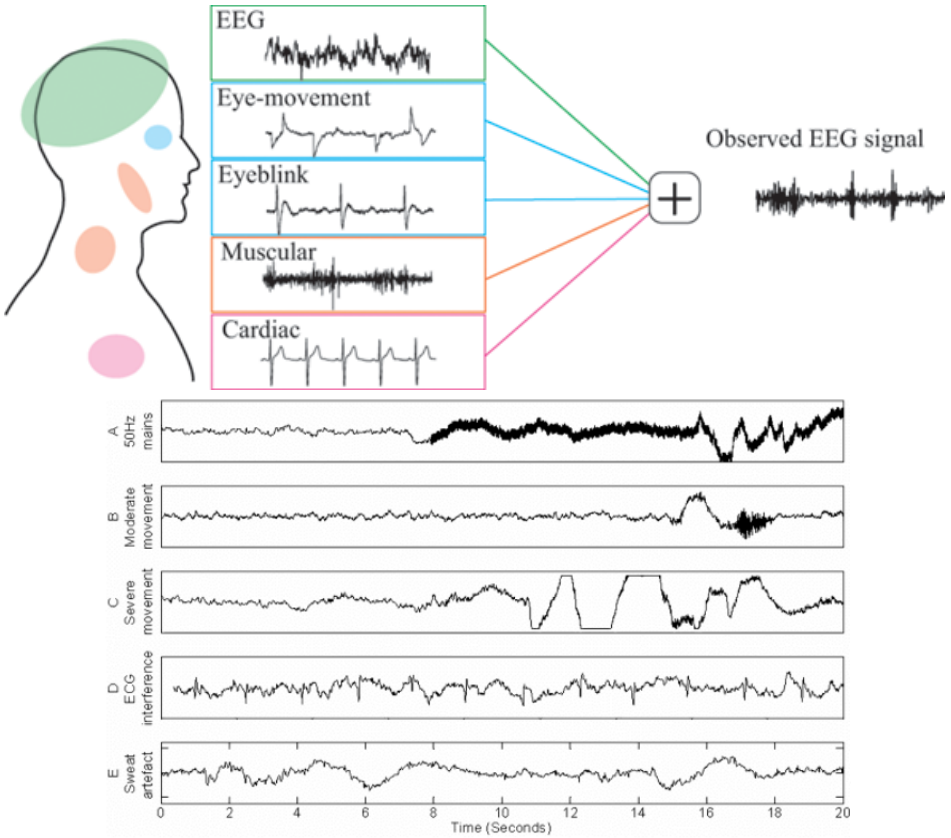
Prétraitements usuels

1. Re-référencement
2. Suppression de segments largement bruités
3. Suppression de dérive de basse fréquence (filtre passe-haut)
4. Détection et suppression d'artefacts



FrontalCortex.com

Artefacts



Common EEG artefacts. (A) 50 Hz mains interference appears as a thickened signal caused by superposition of 50 Hz mains waves on the EEGs. (B) Movement causes a sudden and significant deviation from the background EEG and (C) severe movement can clip the EEG. (D) ECG interference appears as a pulsed EEG, it occurs when the pulses on the ECG are superimposed on the EEG. (E) Sweat artefact is a slow drift of the baseline EEG.

Review of Artifact Rejection Methods for Electroencephalographic Systems, S Kanoga, Y Mitsukura - Electroencephalography, 2017

Plan

1 Contexte
- Musique et Neurosciences
- Méthodes en neurosciences cognitives
- Electroencéphalographie (EEG)

2 Fondements de la conception expérimentale
- Notions clés
- Types de conception expérimentale

3 Exemples
- Lectures - Musique et Neurosciences cognitives
- Restitution

4 Projet Brain Songs
- Travail précédent dans le projet Brain Songs
- Concevoir votre expérience pour l'Intersemestre

5 Conclusion
- Wrap-up
- What's next ?

Cours de référence

Cours de Caroline Appert, Laboratoire de Recherche en Informatique, Université Paris-Sud

`www.lri.fr/~appert/eval/classes/1-experimental-design.pdf`

Qu'est ce qu'une expérience ?

Expérience

Un test fait pour démontrer une vérité connue, examiner la validité d'une hypothèse, ou déterminer l'efficacité de quelque chose qui n'a pas encore été essayé.

Conditions

Elle est conduite dans des conditions hautement contrôlées (pas nécessairement en laboratoire), où des mesures précises sont possibles. Le chercheur décide où l'expérience aura lieu, à quel moment, avec quels participants, dans quelles circonstances et en utilisant une procédure standardisée.

Source : `https://www.thefreedictionary.com/` et `https://www.simplypsychology.org/`

Qu'est ce qu'une expérience ?

Expérience

Un test fait pour démontrer une vérité connue, examiner la validité d'une hypothèse, ou déterminer l'efficacité de quelque chose qui n'a pas encore été essayé.

Conditions

Elle est conduite dans des conditions hautement contrôlées (pas nécessairement en laboratoire), où des mesures précises sont possibles. Le chercheur décide où l'expérience aura lieu, à quel moment, avec quels participants, dans quelles circonstances et en utilisant une procédure standardisée.

Source : `https://www.thefreedictionary.com/` et `https://www.simplypsychology.org/`

Hypothèse

Hypothèse

Une supposition ou une explication proposée faite sur la base de preuves limitées comme point de départ pour une enquête plus approfondie

Exigences d'une hypothèse :

- **Testabilité** : on doit pouvoir en manipuler les facteurs et en mesurer l'effet
- **Falsifiabilité** : il doit être possible de la réfuter avec des données
- **Précision** : on doit pouvoir en définir les termes et conditions de manière spécifique (opéralionalisée).

https://www.lri.fr/~appert/eval/classes/1-experimental-design.pdf

Hypothèse

Hypothèse

Une supposition ou une explication proposée faite sur la base de preuves limitées comme point de départ pour une enquête plus approfondie

Exigences d'une hypothèse :

- **Testabilité** : on doit pouvoir en manipuler les facteurs et en mesurer l'effet
- **Falsifiabilité** : il doit être possible de la réfuter avec des données
- **Précision** : on doit pouvoir en définir les termes et conditions de manière spécifique (opéralionalisée).

https://www.lri.fr/~appert/eval/classes/1-experimental-design.pdf

Tester une hypothèse 1/2

Variables

- Variable *indépendante* = facteur que l'on teste, doit être manipulable (conditions expérimentales)
- Variable *dépendante* = mesure effectuée, doit être observable (ex : comportement, performance, activité cérébrale...)
- *Covariée* = variable qui peut influencer la variable dépendante, doit être contrôlée (ex : âge, sexe, ...) ou son influence doit être limitée (ex : randomisation)

Groupes

- Groupe expérimental : sujet à la manipulation expérimentale (variable indépendante)
- Groupe contrôle : pas de manipulation expérimentale (e.g. influence des covariés)

Tester une hypothèse 1/2

Variables

- Variable *indépendante* = facteur que l'on teste, doit être manipulable (conditions expérimentales)
- Variable *dépendante* = mesure effectuée, doit être observable (ex : comportement, performance, activité cérébrale...)
- *Covariée* = variable qui peut influencer la variable dépendante, doit être contrôlée (ex : âge, sexe, ...) ou son influence doit être limitée (ex : randomisation)

Groupes

- Groupe expérimental : sujet à la manipulation expérimentale (variable indépendante)
- Groupe contrôle : pas de manipulation expérimentale (e.g. influence des covariés)

Tester une hypothèse 1/2

Variables

- Variable *indépendante* = facteur que l'on teste, doit être manipulable (conditions expérimentales)
- Variable *dépendante* = mesure effectuée, doit être observable (ex : comportement, performance, activité cérébrale...)
- *Covariée* = variable qui peut influencer la variable dépendante, doit être contrôlée (ex : âge, sexe, ...) ou son influence doit être limitée (ex : randomisation)

Groupes

- Groupe expérimental : sujet à la manipulation expérimentale (variable indépendante)
- Groupe contrôle : pas de manipulation expérimentale (e.g. influence des covariés)

Tester une hypothèse 1/2

Variables

- Variable *indépendante* = facteur que l'on teste, doit être manipulable (conditions expérimentales)
- Variable *dépendante* = mesure effectuée, doit être observable (ex : comportement, performance, activité cérébrale...)
- *Covariée* = variable qui peut influencer la variable dépendante, doit être contrôlée (ex : âge, sexe, ...) ou son influence doit être limitée (ex : randomisation)

Groupes

- Groupe expérimental : sujet à la manipulation expérimentale (variable indépendante)
- Groupe contrôle : pas de manipulation expérimentale (e.g. influence des covariés)

Tester une hypothèse 2/2

Types de conception

- Chaque sujet ne participe qu'à une seule condition expérimentale ("Within-subjects" / "Repeated measures")
- Chaque sujet participe à toutes les conditions expérimentales ("Between-subjects")

Hypothèse nulle et hypothèse alternative

- *Hypothèse nulle* H_0 = pas de différence entre les conditions expérimentales / groupes.
- *Hypothèse alternative* H_1 = différence.

Tests d'hypothèse

Utilisation de **Tests statistiques** sur la variable dépendante pour tester / rejeter H_0 (soutenir H_1).

Tester une hypothèse 2/2

Types de conception

- Chaque sujet ne participe qu'à une seule condition expérimentale ("Within-subjects" / "Repeated measures")
- Chaque sujet participe à toutes les conditions expérimentales ("Between-subjects")

Hypothèse nulle et hypothèse alternative

- *Hypothèse nulle* H_0 = pas de différence entre les conditions expérimentales / groupes.
- *Hypothèse alternative* H_1 = différence.

Tests d'hypothèse

Utilisation de **Tests statistiques** sur la variable dépendante pour tester / rejeter H_0 (soutenir H_1).

Tester une hypothèse 2/2

Types de conception

- Chaque sujet ne participe qu'à une seule condition expérimentale ("Within-subjects" / "Repeated measures")
- Chaque sujet participe à toutes les conditions expérimentales ("Between-subjects")

Hypothèse nulle et hypothèse alternative

- *Hypothèse nulle* H_0 = pas de différence entre les conditions expérimentales / groupes.
- *Hypothèse alternative* H_1 = différence.

Tests d'hypothèse

Utilisation de **Tests statistiques** sur la variable dépendante pour tester / rejeter H_0 (soutenir H_1).

Tester une hypothèse 2/2

Types de conception

- Chaque sujet ne participe qu'à une seule condition expérimentale ("Within-subjects" / "Repeated measures")
- Chaque sujet participe à toutes les conditions expérimentales ("Between-subjects")

Hypothèse nulle et hypothèse alternative

- *Hypothèse nulle* H_0 = pas de différence entre les conditions expérimentales / groupes.
- *Hypothèse alternative* H_1 = différence.

Tests d'hypothèse

Utilisation de **Tests statistiques** sur la variable dépendante pour tester / rejeter H_0 (soutenir H_1).

Pour approfondir…

Types de conception expérimentale, tester plusieurs facteurs simultanément, etc.

- Design factoriel, mixte, contrebalancé, …
- Tenir compte de l'effet de l'ordre, de la répétition
- Randomisation
- Validité interne et externe
- Causalité et corrélation
- …

`www.lri.fr/~appert/eval/classes/1-experimental-design.pdf`

Plan

1 Contexte
- Musique et Neurosciences
- Méthodes en neurosciences cognitives
- Electroencéphalographie (EEG)

2 Fondements de la conception expérimentale
- Notions clés
- Types de conception expérimentale

3 Exemples
- Lectures - Musique et Neurosciences cognitives
- Restitution

4 Projet Brain Songs
- Travail précédent dans le projet Brain Songs
- Concevoir votre expérience pour l'Intersemestre

5 Conclusion
- Wrap-up
- What's next ?

Articles

Sélection d'articles de la revue *Music & Science* de 2022 à 2024.
Allez sur :
`https://github.com/nicofarr/exp-design`

Discussion

7 minutes de restitution par article, puis discussion en 5 minutes.

Plan

1 Contexte
- Musique et Neurosciences
- Méthodes en neurosciences cognitives
- Electroencéphalographie (EEG)

2 Fondements de la conception expérimentale
- Notions clés
- Types de conception expérimentale

3 Exemples
- Lectures - Musique et Neurosciences cognitives
- Restitution

4 Projet Brain Songs
- Travail précédent dans le projet Brain Songs
- Concevoir votre expérience pour l'Intersemestre

5 Conclusion
- Wrap-up
- What's next ?

Projet Brain Songs

Design your own experiment

Wrap-up

Et ensuite ?

Séances :

1. 16/01 matin : Neurosciences et neuromythes (D. Toquet).
   après-midi : Pratique Musicale (C. Rocher)
2. 23/01 matin : Introduction à la conception expérimentale (N. Farrugia).
   après-midi : Pratique Musicale (C. Rocher)
3. 30/01 Expériences EEG
4. 06/02 matin : Analyse de données EEG (N. Farrugia).
   après-midi : Pratique Musicale (C. Rocher)
5. 13/02 soir : restitution au Cabaret Vauban