

MAGNETOPHOSPHENES : ETUDE DES MECANISMES PAR ELECTROENCEPHALOGRAPHIE HAUTE RESOLUTION

Julien MODOLO^{1,2}, Mahmoud HASSAN¹, Alexandre LEGROS^{2,3,4,5}

1 : UNIV RENNES, INSERM, LTSI-1099, F-35000 RENNES, FRANCE

2 : HUMAN THRESHOLD RESEARCH GROUP, LAWSON HEALTH RESEARCH INSTITUTE, LONDON, ON, CANADA

3 : DEPARTMENTS OF MEDICAL BIOPHYSICS AND MEDICAL IMAGING, WESTERN UNIVERSITY, LONDON, ON, CANADA

4 : SCHOOL OF KINESIOLOGY, WESTERN UNIVERSITY, LONDON, ON, CANADA

5 : EUROMOUV, UNIVERSITE DE MONTPELLIER, FRANCE

julien.modolo@inserm.fr

Introduction

La perception de magnétosphènes est l'effet biologique le mieux identifié et le plus reproductible lors de l'exposition du cerveau à des champs magnétiques (CM) d'extrêmement basse fréquence (EBF) chez l'humain. Leur seuil de perception est à la base des normes internationales de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)¹ et l'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)², même si les mécanismes sous-jacents ne sont pas encore identifiés. Etant donné le caractère central des magnétosphènes dans les limites d'exposition aux CM EBF, il est indispensable d'améliorer leur caractérisation objective et quantitative. Une solution possible est l'utilisation de l'électroencéphalographie (EEG), qui bénéficie, en plus d'une excellente résolution temporelle (< 1 ms), d'une excellente résolution spatiale avec le développement de l'EEG haute-résolution (EEG-HR). Une méthode récente, dite *connectivité de sources*, permet la reconstruction des réseaux corticaux modulés par des tâches/stimuli à partir des signaux EEG-HR^{3,4}. Dans cette étude, notre objectif était de valider l'utilisation de l'EEG-HR pour identifier les zones cérébrales liées à la perception des magnétosphènes.

Méthodologie

Nous avons recruté N=3 volontaires pour cette étude (accord éthique #17816, Western University, London, ON, Canada.). Nous avons acquis pour chaque sujet un IRM tête entière (Biograph 3T, Siemens). Chaque sujet était équipé d'un bonnet EEG-HR 128 électrodes (Compumedics-Neuroscan), puis placé dans un système d'exposition tête entière (type Helmholtz) exposant le cerveau entier à un CM de 50 mT (+/- 5%). L'expérimentation se déroulait dans l'obscurité et comportait 10 époques « exposition réelle » (50 mT, 60 Hz) et 10 époques « sham » (1 minute chacune, ordre contrebalancé). Les signaux EEG-HR (échantillonnés à 10 kHz) étaient filtrés entre 2 et 35 Hz, puis les sources EEG reconstruites en utilisant Brainstorm (<http://neuroimage.usc.edu/brainstorm/>, intégré au logiciel Matlab). Les sources EEG étaient regroupées en 68 régions d'intérêt (atlas de Desikan-Killiany), puis les corrélations entre l'activité des sources (Phase-Locking Value, PLV³) ont été quantifiées dans les bandes alpha (8-12 Hz), beta (13-25 Hz), et gamma (25-35 Hz). Les 10% des PLV les plus élevées étaient conservées (seuil proportionnel^{3,4}), puis la matrice de connectivité fonctionnelle analysée en utilisant l'indice de *clustering* (traitement local d'information³).

Résultats

Nos analyses révèlent une différence significative du clustering dans les bandes alpha et beta pour plusieurs régions (Figure 1). Les zones cérébrales impliquées dans la perception de magnétosphènes sont principalement localisées dans l'hémisphère droit, ce qui est cohérent avec l'implication de cet hémisphère dans la perception de stimuli ayant une faible

résolution spatiale⁵, comme les magnétosphènes⁶. Plus précisément, on observe une activation de la voie occipito-temporale, impliquée dans l'identification d'un stimulus visuel⁷.

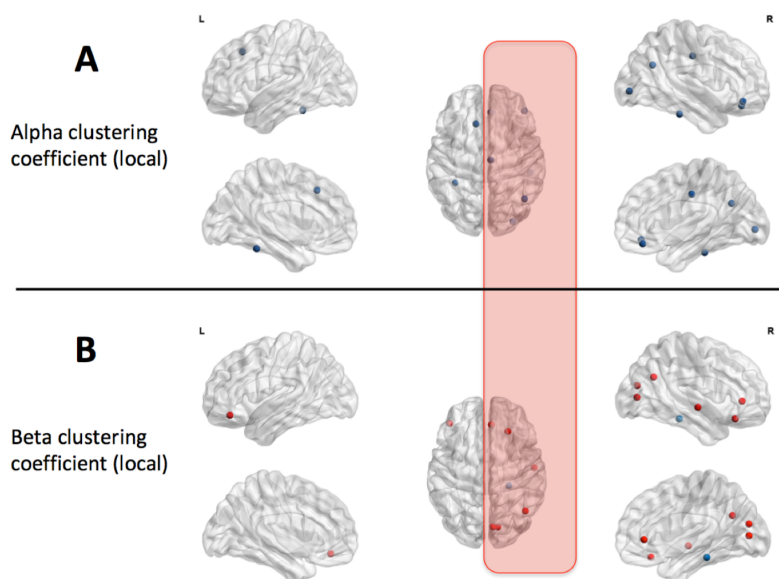


Figure 1. Zones cérébrales où le coefficient de clustering diminue (bleu) ou augmente (rouge) pendant la perception de magnétosphènes, pour les bandes A) alpha et B) beta.

Discussion et conclusion

En utilisant la méthode de connectivité de sources EEG, nous avons montré qu'il est possible, chez l'humain exposé à des CM EBF intenses, d'identifier les structures cérébrales impliquées dans la perception des magnétosphènes, principalement dans la voie occipito-temporale, mais aussi la jonction temporo-pariétale reliée à la perception consciente de stimuli visuels⁸. Le nombre de sujets est faible, néanmoins ces résultats suggèrent que la connectivité de sources EEG est une technique extrêmement prometteuse pour l'identification des mécanismes à l'origine des effets des CM EBF sur l'activité cérébrale.

Références

- 1 IEEE. IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0 Hz to 100 kHz. *IEEE Std C95.3.1-2010* (2010).
- 2 International Commission on Non-Ionizing Radiation, P. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys* **99**, 818-836, doi:10.1097/HP.0b013e3181f06c86 (2010).
- 3 Hassan, M. *et al.* Dynamic reorganization of functional brain networks during picture naming. *Cortex* **73**, 276-288, doi:10.1016/j.cortex.2015.08.019 (2015).
- 4 Kabbara, A., El Falou, W., Khalil, M., Wendling, F. & Hassan, M. The dynamic functional core network of the human brain at rest. *Sci Rep* **7**, 2936, doi:10.1038/s41598-017-03420-6 (2017).
- 5 Kauffmann, L., Ramanoel, S. & Peyrin, C. The neural bases of spatial frequency processing during scene perception. *Front Integr Neurosci* **8**, 37, doi:10.3389/fnint.2014.00037 (2014).
- 6 Souques, M. *et al.* Anecdotal report of magnetosphene perception in 50 mT 20, 50 and 60 Hz magnetic fields. *Radioprotection* **49**, 69-71 (2014).
- 7 de Haan, E. H. & Cowey, A. On the usefulness of 'what' and 'where' pathways in vision. *Trends Cogn Sci* **15**, 460-466, doi:10.1016/j.tics.2011.08.005 (2011).
- 8 Beauchamp, M. S., Sun, P., Baum, S. H., Tolia, A. S. & Yeshor, D. Electrocoricography links human temporoparietal junction to visual perception. *Nat Neurosci* **15**, 957-959, doi:10.1038/nn.3131 (2012).