

## **Effets de stimulations électriques magnétiques d'extrêmes basses fréquences sur la performance vestibulaire chez l'Homme.**

**Sebastien Villard<sup>1, 2</sup>, Nicolas Bouisset<sup>1, 3</sup>, Daniel Goulet<sup>4</sup>, Michel Plante<sup>4</sup>, Martine Souques<sup>5</sup>, François Deschamps<sup>6</sup>, Genevieve Ostiguy<sup>4</sup>, Jacques Lambrozo<sup>5</sup> & Alexandre Legros<sup>1, 2, 3, 7, 8</sup>**

<sup>1</sup>Human Threshold Research Group, LHRI, London, ON, Canada

<sup>2</sup>Medical Biophysics, Western University, London, ON, Canada

<sup>3</sup>Kinesiology, Western University, London, ON, Canada

<sup>4</sup>Hydro-Québec, Montréal, QC, Canada

<sup>5</sup>Service des Études Médicales, EDF, Paris, France

<sup>6</sup>Service Environnement Réseaux, RTE, Paris, France

<sup>7</sup>Medical Imaging, Western University, London, ON, Canada

<sup>8</sup>EuroMov, Université de Montpellier, Montpellier, France

[svillard@uwo.ca](mailto:svillard@uwo.ca)

### **Introduction**

La connaissance des modulations comportementales dues aux champs magnétiques d'extrêmes basses fréquences (CMEBF) est cruciale pour assurer la sécurité des travailleurs sur les lignes à haute-tension, mais aussi pour le public à proximité de sources de courant électrique. Jusqu'alors, les organisations internationales établissent leurs recommandations à partir du seul marqueur comportemental fiable, les magnétosphènes (perception de flashes lumineux sous l'influence des CMEBF)<sup>1,2</sup>. L'effet présumé des CMEBF sur le contrôle postural suggère un impact sur la performance vestibulaire<sup>3</sup>. Le jugement de la verticalité est largement lié aux perceptions d'accélération linéaires fournies par les otolithes vestibulaires. La littérature confirme l'effet d'une stimulation électrique continue de faible intensité sur la Verticale Visuelle Subjective (VVS)<sup>4,5</sup>, montrant un biais de perception dans la direction de la stimulation anodale. Nous avons donc utilisé la VVS pour rendre compte de l'effet de stimulations électriques et magnétiques d'extrêmes basses fréquences.

### **Matériels et Méthodes**

Treize participants ont été exposés pendant 25 s à 4 conditions de stimulation vestibulaire (65 seront testées au total). i) une condition SHAM sans exposition. ii) une stimulation électrique continue (DC) à 2 mA (utilisé comme contrôle positif). iii) une stimulation de courant alternatif (AC) à 2 mA dans 4 conditions de fréquences, 20, 60, 120, et 160 Hz. iv) une stimulation CMEBF à 80, 26,67, 13,33, et 10 mT pour respectivement 20, 60, 120, et 160 Hz. Les densités de flux ont été choisies pour maintenir un dB/dt constant de 14,2 T.s<sup>-1</sup>. Une ligne inclinée était présentée aux participants, selon 8 angles :  $\pm 4^\circ$ ,  $\pm 3^\circ$ ,  $\pm 2^\circ$ , et  $\pm 1^\circ$ . Chaque participant devait presser le bouton tenu dans leur main droite si la ligne était inclinée vers la droite, ou le bouton tenu dans leur main gauche si la ligne était inclinée vers la gauche. La présentation de ces 8 angles était distribuée de façon aléatoire dans chaque condition de stimulation. Le passage des stimulations a été randomisé pour éviter un effet d'ordre. Nous avons analysé les pressions de boutons avec une fonction logistique rendant compte de la probabilité de presser le bouton droit pour chaque angle et pour chaque condition expérimentale (Figure 1). Ainsi nous avons obtenu le point pour lequel il y a 50% de chances de presser le bouton droit, défini comme la valeur de VVS. De même, la pente du modèle a été analysée pour rendre compte de la difficulté à discriminer droite et gauche. Enfin, le temps de réaction et le nombre d'erreurs (2 pressions simultanées ou consécutives, ou pas de pression) ont été enregistrés.

### **Résultats**

VVS, pente, et nombre d'erreurs ne montrent pas de différence significative entre les conditions expérimentales (respectivement,  $F_{3,26}=0,91$ ,  $p=0,44$  ;  $F_{3,36}=1,41$ ,  $p=0,25$ ,  $F_{4,376}=1,25$ ,  $p=0,29$ ). Seul, le temps de réaction présente un effet significatif de la stimulation

( $F_{4,376}=2,64$ ,  $p<0,05$ , partial  $\eta^2=0,45$ ), avec un temps de réaction plus long pour la condition DC.

## Discussion

Bien que ces résultats soient préliminaires, il est important d'observer que notre test de contrôle positif ne permet pas d'observer de modification de VVS. Pourtant tous les participants ont exprimé ressentir l'effet de DC quand cette situation était présentée avant le début de l'expérimentation. De plus, tous les participants ont montré une perte d'équilibre du côté de la stimulation anodale pendant l'essai de familiarisation. D'autre part, les résultats du temps de réaction suggèrent que la stimulation DC module le comportement.

La méthode employée dans cette étude pour mesurer la VVS est une méthode de choix forcée entre 2 alternatives (2AFC) qui avait été choisie parce que plus fiable, montrant moins de variabilité et évitant un certain nombre de biais présents dans les tests classiques. Cependant, il est possible que cette méthode ne soit pas suffisamment sensible pour discriminer l'effet DC et donc peu appropriée pour distinguer des effets peut-être plus subtils d'autres conditions expérimentales.

Enfin, nous avons montré que la VVS était toujours orientée vers la gauche, même dans la condition SHAM. Des résultats similaires ont été reportés et discutés dans la littérature lorsque les participants sont majoritairement droitiers. 93% de nos participants sont en effet droitiers. Cet effet serait dû au fait que l'information vestibulaire est principalement traitée dans l'hémisphère non-dominant, ce qui expliquerait l'asymétrie de perception<sup>6</sup>.

Nous proposons donc de tester une autre méthode d'évaluation de la VVS dans laquelle les participants ajusteraient eux-mêmes la ligne verticale pour augmenter la résolution des mesures. Les résultats des 2 méthodes seront présentés et discutés pour un total de 30 sujets lors de la conférence.

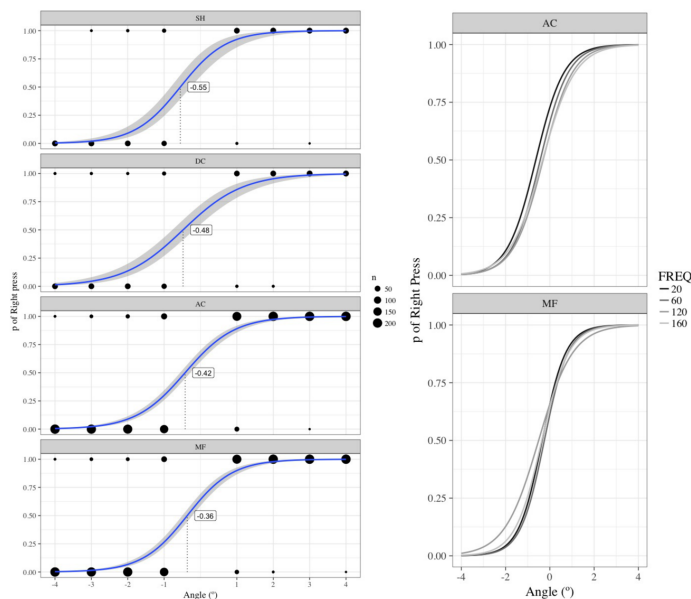


Figure 1. Probabilité de presser le bouton droit pour chaque angle. Les panneaux de gauche présentent les réponses moyennes de 13 participants en fonction de la stimulation (SH pour SHAM, DC pour courant continu, AC pour courant alternatif, et MF pour champ magnétique). La taille des points représente le nombre de réponses pour chaque angle (1 pour Droite, 0 pour Gauche). Les panneaux de droite présentent les réponses pour AC (haut) et MF (bas) en fonction de la fréquence de stimulation.

## Bibliographie :

1. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys.* **99**, 818–36 (2010).
2. IEEE. C95.6. *IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0-3kHz*. (The institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2002).
3. Glover, P. M., Cavin, I., Qian, W., Bowtell, R. & Gowland, P. A. Magnetic-field-induced vertigo: A theoretical and experimental investigation. *Bioelectromagnetics* **28**, 349–361 (2007).
4. Mars, F., Popov, K. & Vercher, J. L. Supramodal effects of galvanic vestibular stimulation on the subjective vertical. *Neuroreport* **12**, 2991–2994 (2001).
5. Volkening, K. *et al.* Verticality perception during and after galvanic vestibular stimulation. *Neurosci. Lett.* **581**, 75–79 (2014).
6. Santos-Pontelli, T. E. G. *et al.* Polarity-dependent misperception of subjective visual vertical during and after transcranial direct current stimulation (tDCS). *PLoS One* **11**, 1–14 (2016).