

INDUCTION MAGNETIQUE : ENTRE NEUROMODULATION ET NEUROSTIMULATION

Alexandre Legros^{1,2,3,4*}, Julien Modolo^{1,2,3,5}
alegros@lawsonimaging.ca

¹Bioelectromagnetics and Human Threshold Research Group, Lawson Health Research Institute, London (ON) Canada

²Department of Medical Biophysics, Western University, London (ON) Canada

³Department of Medical Imaging, Western University, London (ON) Canada

⁴School of Kinesiology, Western University, London (ON) Canada

⁵Équipe Sesame, LTSI, UMR INSERM U1099, Rennes

Notre environnement moderne nous soumet constamment à différents types d'expositions électromagnétiques d'origine artificielles telles que les téléphones mobiles ou les lignes à haute tension par exemple. La question des possibles effets biologiques de ce type d'expositions se pose alors, et des organismes internationaux tels que l'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) et l'IEEE-ICES (Institute of Electrical and Electronics Engineers - International Committee on Electromagnetic Safety) sont chargés de publier des limites et recommandations afin de garantir la sécurité sanitaire du public et des travailleurs [1,2]. Dans le cadre des expositions dites d'extrêmement basses fréquences (EBF < 300 Hz – incluant les fréquences de production et distribution d'électricité), dont le champ magnétique (CM) a la propriété d'induire des champs et courants électriques dans les structures biologiques, ces limites sont basées sur le seuil d'exposition au-delà duquel des effets aigus sont observés sur la communication synaptique chez l'humain. Cette interaction se traduit par des changements fonctionnels mesurables dont le meilleur exemple est la perception de magnétosphènes [3]. Les magnétosphènes sont une perception visuelle se manifestant plus particulièrement dans l'obscurité. Elle est décrite comme l'occurrence de flash lumineux blancs stroboscopiques à la périphérie du champ visuel, et se manifeste en situation d'exposition à un CM EBF suffisamment intense [3-6].

Il est important de noter que les niveaux de champs électriques et courants induits calculés élicitant la perception de magnétosphènes sont de 20 à 200 fois inférieurs aux niveaux requis pour stimuler des tissus excitables tels que les neurones et le tissu cardiaque [7,8]. Quel mécanisme sous-jacent pourrait être à l'origine de cette perception?

Par ailleurs, un grand nombre d'études expérimentales rapportent des effets neurophysiologiques et comportementaux non-aigus (c'est à dire s'exprimant après une période d'exposition de l'ordre de la minute à l'heure) sur des marqueurs tels que l'activité électrique du cerveau mesurée par électroencéphalographie (EEG) [9,10] ou par imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) [11], les performances cognitives [12,13], l'excitabilité corticale [14], ou encore le contrôle moteur [15-17], pour des niveaux d'exposition inférieurs aux valeurs requises pour générer des magnétosphènes. Ces effets persistent parfois après l'arrêt de l'exposition. Peut-on parler d'effets de neuromodulation?

L'objectif de ce tutorial sera de mettre en cohérence les effets rapportés dans la littérature avec des mécanismes neurophysiologiques plausibles, basés sur le principe de l'induction magnétique, et compatibles avec la temporalité de leur manifestation (instantanés/transitoires vs. non-aigus/persistants). L'apport théorique des neurosciences computationnelles viendra supporter cet exercice.

1. ICNIRP (2010) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys* 99: 818-836.
2. IEEE (2002) C95.6 - IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0-3 kHz. IEEE: New York.
3. Lovsund P, Oberg PA, Nilsson SE, Reuter T (1980) Magnetophosphenes: a quantitative analysis of thresholds. *Med Biol Eng Comput* 18: 326-334.
4. Attwell D (2003) Interaction of low frequency electric fields with the nervous system: the retina as a model system. *Radiat Prot Dosimetry* 106: 341-348.
5. Hirata A, Takano Y, Fujiwara O, Dovan T, Kavet R (2011) An electric field induced in the retina and brain at threshold magnetic flux density causing magnetophosphenes. *Phys Med Biol* 56: 4091-4101.
6. Souques M, Plante M, Ostiguy G, Goulet D, Deschamps F, Mezei G, et al. (2014) Anecdotal Report of Magnetophosphene Perception in Magnetic Fields of 50 mT at Frequencies of 20, 50 and 60 Hz / Rapport anecdotique de la perception des magnétophosphènes dans un champ magnétique de 50 mT à 20, 50 et 60 Hz. *Radioprotection* 49: 69-71.
7. Foster KR (2003) Mechanisms of interaction of extremely low frequency electric fields and biological systems. *Radiat Prot Dosimetry* 106: 301-310.
8. Saunders RD, Jefferys JG (2007) A neurobiological basis for ELF guidelines. *Health Phys* 92: 596-603.
9. Ghione S, Seppia CD, Mezzasalma L, Bonfiglio L (2005) Effects of 50 Hz electromagnetic fields on electroencephalographic alpha activity, dental pain threshold and cardiovascular parameters in humans. *Neurosci Lett* 382: 112-117.
10. Cook CM, Thomas AW, Prato FS (2004) Resting EEG is affected by exposure to a pulsed ELF magnetic field. *Bioelectromagnetics* 25: 196-203.
11. Legros A, Modolo J, Brown S, Roberston J, Thomas AW (2015) Effects of a 60 Hz Magnetic Field Exposure Up to 3000 μ T on Human Brain Activation as Measured by Functional Magnetic Resonance Imaging. *PLoS One* 10: e0132024.
12. Corbacio M, Brown S, Dubois S, Goulet D, Prato FS, Thomas AW, et al. (2011) Human cognitive performance in a 3 mT power-line frequency magnetic field. *Bioelectromagnetics* 32: 620-633.
13. Crasson M (2003) 50-60 Hz electric and magnetic field effects on cognitive function in humans: a review. *Radiat Prot Dosimetry* 106: 333-340.
14. Capone F, Dileone M, Profice P, Pilato F, Musumeci G, Minicuci G, et al. (2009) Does exposure to extremely low frequency magnetic fields produce functional changes in human brain? *J Neural Transm* 116: 257-265.
15. Legros A, Corbacio M, Beuter A, Modolo J, Goulet D, Prato FS, et al. (2011) Neurophysiological and behavioral effects of a 60 Hz, 1,800 μ T magnetic field in humans. *Eur J Appl Physiol*.
16. Thomas AW, Drost DJ, Prato FS (2001) Human subjects exposed to a specific pulsed (200 μ T) magnetic field: effects on normal standing balance. *Neurosci Lett* 297: 121-124.
17. van Nierop LE, Slottje P, van Zandvoort M, Kromhout H (2014) Simultaneous exposure to MRI-related static and low-frequency movement-induced time-varying magnetic fields affects neurocognitive performance: A double-blind randomized crossover study. *Magn Reson Med*.