


**Exemple d'effet biophysique direct dans le domaine des extrêmement basses fréquences : la perception de magnétosphènes**

*Une étude chez l'humain exposé entre 0 et 50 000  $\mu$ T*

**LIMOGES**  
16 OCTOBRE 2014

**A. Legros**, J. Modolo, D. Goulet, M. Plante, M. Souques, F. Deschamps, G. Ostiguy, J. Lambrozo, A.W. Thomas

[alegros@lawsonimaging.ca](mailto:alegros@lawsonimaging.ca)




**Société Française de Radioprotection**  
SECTION RAYONNEMENTS NON IONISANTS

**"Human Threshold Research Team" at Lawson:**

Alexandre Legros, PhD <sup>1,2,3</sup>	Terry Thompson, PhD <sup>1,2</sup>	Daniel Goulet, PhD <sup>4</sup>
Julien Modolo, PhD <sup>1,2</sup>	Rob Stodilka, PhD <sup>1,2</sup>	Jacques Lambrozo, MD <sup>5</sup>
Michael Corbacio, MSc <sup>1,2</sup>	Stephanie Dubois, PhD <sup>1</sup>	Michel Plante, MD <sup>4</sup>
Lynn Keenlside <sup>1</sup>	Alex W. Thomas, PhD <sup>1,2</sup>	Martine Souques, MD <sup>5</sup>
Shirin Davarpanah Jazi, PhD Cand <sup>3</sup>	Alicia Allen, BSc <sup>1</sup>	François Deschamps, P.Eng <sup>6</sup>
		Genevieve Ostiguy, MD <sup>4</sup>
		Duc Nguyen, MD <sup>4</sup>
		Rob Kavet, MD, PhD <sup>7</sup>
		Hayley Tripp, PhD <sup>8</sup>

<sup>1</sup> Lawson Health Research Institute, London (ON) Canada  
<sup>2</sup> Departments of Medical Biophysics and Medical Imaging, Western University, London (ON) Canada  
<sup>3</sup> School of Kinesiology, Western University, London (ON) Canada  
<sup>4</sup> Hydro-Québec, Montréal (QC) Canada  
<sup>5</sup> Service des Etudes Médicales, EDF, Paris France  
<sup>6</sup> Réseau de Transport d'Électricité, Paris France  
<sup>7</sup> Electric Power Research Institute, Palo Alto (CA) USA  
<sup>8</sup> NationalGrid, London UK

**Partenaires**



© Copyright 2014 Alexandre Legros - Lawson Health Research 2

**Sommaire**

1. Effets biologiques aigus de champs magnétiques variant dans le temps chez l'humain : Introduction
2. Seuil d'apparition des magnétosphènes : Procédure Expérimentale
3. Seuil d'apparition des magnétosphènes : Résultats
4. Discussion – Conclusion

© Copyright 2014 Alexandre Legros - Lawson Health Research 3

**Sommaire**

1. Effets biologiques aigus de champs magnétiques variant dans le temps chez l'humain : Introduction
2. Seuil d'apparition des magnétosphènes : Procédure Expérimentale
3. Seuil d'apparition des magnétosphènes : Résultats
4. Discussion – Conclusion

© Copyright 2014 Alexandre Legros - Lawson Health Research 4

**Stimulation Magnétique du Cerveau**



© Copyright 2014 Alexandre Legros - Lawson Health Research

5

SFRP 2014 - 16 octobre - Limoges

**Seuil pour un effet biologique direct**

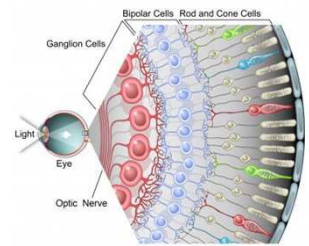
Quelle est la densité de flux magnétique **seuil** permettant à CM ELF d'avoir un **effet systématique** sur un marqueur **objectif/quantifiable** chez l'**humain**?



- Effet biologique aigu le mieux établi : **Magnétophosphènes** (IEEE 2002, ICNIRP 2010)

- Semble être la conséquence de l'induction magnétique au niveau des **neurones de la rétine**

- **Les neurones de la rétine** font partie du système nerveux central



© Copyright 2014 Alexandre Legros - Lawson Health Research

6

SFRP 2014 - 16 octobre - Limoges

**Que sait-on de la perception de magnétophosphènes?**

- Premier rapport empirique: **D'Arsonval 1896**

SEANCE DU 3 MAI 1896

EXPERIENCES POUR LA CURE MEDICALE ALLEGEE DE LA MALADIE D'ARSONVAL

Sept. de M. D'ARSONVAL

Il y a une communication verbale entre le 2 et le 3 mai 1896 sur la Société. J'ai vu mon ami qui se charge magnétique alternatif (courant de 140 volts, 30 ampères et 42 périodes) et qui a été appliqué à la tête. Il y a eu quelques personnes qui ont eu des sensations de lumière d'un ou deux centimètres pour commencer la production des phosphènes. Ces deux hommes ont eu l'effet de 100 de fort deux de 5 centimètres de diamètre sur 30 centimètres de long. Les phosphènes apparaissent. Ce champ magnétique alternatif agit sur la forme de la crête. On remarque et peut-être sur les fibres optiques d'autres effets qui ont lieu de manière en relief, et dont je donnerai l'état en un moment.



D'Arsonval 1896

- Puis Beer 1902, Thompson 1910, Dunlap 1911, Magnusson and Stevens 1911 and 1914, Walsh 1946, Barlow 1947 - See Geddes, 1991 for an historical review



Thompson 1910



Magnusson and Stevens 1911

© Copyright 2014 Alexandre Legros - Lawson Health Research

7

SFRP 2014 - 16 octobre - Limoges

**Que sait-on de la perception de magnétophosphènes?**

- Étude de référence = Lövsund 1980 → **Seuil estimé à 20 Hz**: entre **5 et 10 mT** – entre 50 et 100 mV/m – entre 10 et 14 mA/m<sup>2</sup>

(Silny 1986, IEEE 2002, Taki et al. 2003, Saunders and Jefferys 2007, ICNIRP 2010, Hirata et al. 2011, Laakso and Hirata 2012; following the work from Lövsund et al., 1979 and 1980)

- "ICNIRP now considers the effect on the retina as a model of effects in the brain and the **phosphene threshold provides a basis for limiting exposure**" (ICNIRP, 2010)

© Copyright 2014 Alexandre Legros - Lawson Health Research

8

SFRP 2014 - 16 octobre - Limoges

**Que sait-on de la perception de magnétosphènes?**

- Seuil à 60 Hz extrapolé, non mesuré
- Petite taille d'échantillon – absence de réplication
- Méthodes pas entièrement décrites et travaux "difficult to evaluate" (Saunders and Jefferys, 2007)
- Pas d'enregistrement simultané de marqueur neurophysiologique objectif
- "guidelines are based on upon limited data and assumptions regarding phosphenes" (Kovet, 2008)



Seuil pour un effet aigu systématique sur un marqueur objectif/quantifiable tel que la perception de magnétosphènes et l'EEG associé

**Sommaire**

1. Effets biologiques aigus de champs magnétiques variant dans le temps chez l'humain : Introduction
2. Seuil d'apparition des magnétosphènes : Procédure Expérimentale
3. Seuil d'apparition des magnétosphènes : Résultats
4. Discussion – Conclusion

**Seuil pour un effet biologique direct**

**Magnétosphènes/EEG**

- 0-50 mT, tous les 5 mT, 5 répétitions, ordre aléatoire, 50 Hz (N=25) et 60 Hz (N=31), expositions locales et globales de la tête (HSREB #18882)
- Magnétosphènes (bouton à presser) et EEG enregistrés simultanément (analyse fréquentielle – cortex visuel)



**Matériel - Méthode**

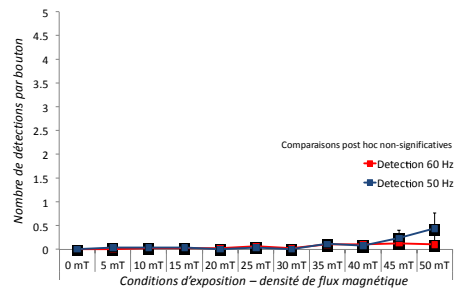
- EEG, rythme alpha (8-12 Hz) analysé dans les électrodes O1, O2 et Oz (système international de positionnement 10-20):

**Sommaire**

1. Effets biologiques aigus de champs magnétiques variant dans le temps chez l'humain : Introduction
2. Seuil d'apparition des magnétosphènes : Procédure Expérimentale
3. Seuil d'apparition des magnétosphènes : Résultats
4. Discussion – Conclusion

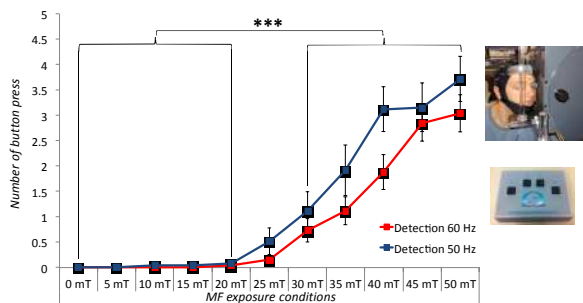
**Résultats: Détection de Magnétosphènes – Bouton**

- Exposition occipitale (n=26 à 50 Hz - n=30 à 60 Hz):
  - Principal - densité de flux:  $F=3.65, p<.05, \text{Partial } \eta^2=.064, \text{ Puissance}=.65$
  - Interaction:  $F=1.75, p>.05, \text{Partial } \eta^2=.032, \text{ Puissance}=.36$



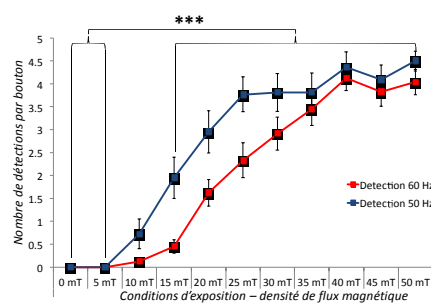
**Résultats: Détection de Magnétosphènes – Bouton**

- Exposition rétinienne (n=25 at 50 Hz - n=26 at 60 Hz):
  - Principal - densité de flux:  $F=94.21, p<.001, \text{Partial } \eta^2=.66, \text{ Puissance}=1$
  - Interaction:  $F=2.14, p>.05, \text{Partial } \eta^2=.043, \text{ Puissance}=.50$



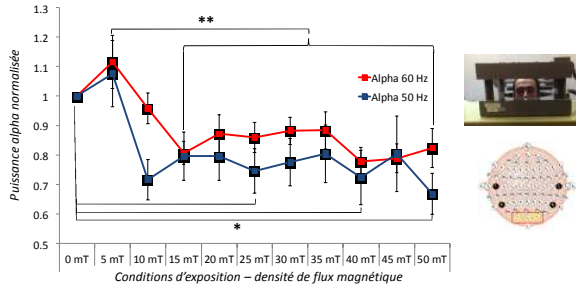
**Résultats: Détection de Magnétosphènes – Bouton**

- Exposition globale (n=25 à 50 Hz - n=31 à 60 Hz):
  - Principal - densité de flux:  $F=133.91, p<.001, \text{Partial } \eta^2=.70, \text{ Puissance}=1$
  - Interaction:  $F=3.696, p<.01, \text{Partial } \eta^2=.06, \text{ Puissance}=.89$



**Résultats: Puissance EEG alpha, O2**

- Exposition globale (n=25 à 50 Hz – n=31 à 60 Hz):
  - Principal - densité de flux:  $F=9.1$ ,  $p<.001$ , Partial  $\eta^2=.149$ , Puissance=1
  - Interaction:  $F=0.795$ ,  $p>.5$ , Partial  $\eta^2=.015$ , Puissance=.33



© Copyright 2014 Alexandre Legros – Lawson Health Research 17 SFRP 2014 – 16 octobre – Limoge

**Sommaire**

- Effets biologiques aigus de champs magnétiques variant dans le temps chez l'humain : Introduction
- Seuil d'apparition des magnétosphènes : Procédure Expérimentale
- Seuil d'apparition des magnétosphènes : Résultats
- Discussion – Conclusion

© Copyright 2014 Alexandre Legros – Lawson Health Research 18 SFRP 2014 – 16 octobre – Limoge

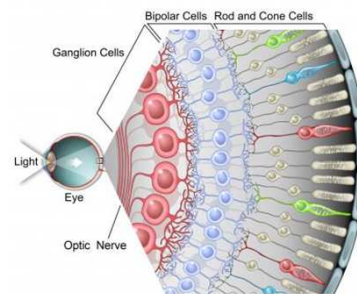
**Discussion - conclusion**

- Exposition occipitale : Pas de perception directe de magnétosphènes
- Seuil pour la perception de magnétosphènes: 15 mT à 50/60 Hz – exposition globale de la tête
- Description: Lumière blanche stroboscopique/scintillante à la périphérie du champ visuel (bas à gauche en exposition rétinienne, toute la périphérie et plus brillante en global). Parfois décrits comme des vibrations, et mention de patrons de lignes (voir aussi Souques et al. 2013)
- Réponses différentes à 50 et 60 Hz (plus marquées à 50 Hz)
- Marqueur neurophysiologique objectif: Diminution de l'activité EEG alpha avec l'augmentation de la densité de flux magnétique (exposition tête entière)

© Copyright 2014 Alexandre Legros – Lawson Health Research 19 SFRP 2014 – 16 octobre – Limoge

**Discussion - conclusion**

**Quelles cellules "voient" le CM?**

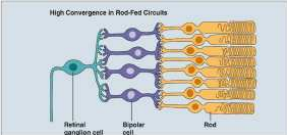


- Bâtonnets et cônes fonctionnent par potentiels gradués, pas par potentiels d'action : même de petites variations du potentiel de membrane transmettent de l'information

© Copyright 2014 Alexandre Legros – Lawson Health Research 20 SFRP 2014 – 16 octobre – Limoge

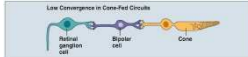
**Discussion - conclusion**

**Bâtonnets**



- Sensitivité élevée – **convergence importante** (amplification du signal)
- Cellules longues: E-fields plus élevé
- Principalement à la **périphérie**
- **Achromatique** (noir et blanc)
- Gère la vision **nocturne**
- Détecte les **basses fréquences de scintillement** (optimal à 12 Hz)

**Cônes**

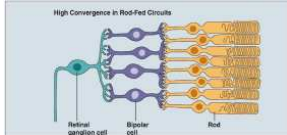


- Faible sensibilité - faible convergence
- Concentrés dans la **fovéa**
- **Couleur**: 3 types de cônes
- Gère la **vision diurne**
- Détecte les **hautes fréquences de scintillement** (optimal à 55 Hz)

© Copyright 2014 Alexandre Legros - Lawson Health Research 21 SFRP 2014 - 16 octobre - Limoge

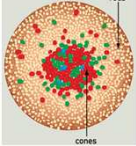
**Discussion - conclusion**

**Bâtonnets**



- Sensitivité élevée – **convergence importante** (amplification du signal)
- Cellules longues: E-fields plus élevé
- Principalement à la **périphérie**
- **Achromatique** (noir et blanc)
- Gère la vision **nocturne**
- Détecte les **basses fréquences de scintillement** (optimal à 12 Hz)

**Cônes**



- Faible sensibilité - faible convergence
- Concentrés dans la **fovéa**
- **Couleur**: 3 types de cônes
- Gère la **vision diurne**
- Détecte les **hautes fréquences de scintillement** (optimal à 55 Hz)

© Copyright 2014 Alexandre Legros - Lawson Health Research 22 SFRP 2014 - 16 octobre - Limoge

**Discussion - conclusion**


- Hypothèse de **mécanisme d'action**: effet sur les potentiel gradués des bâtonnets  
 → Besoin de tester des fréquences différentes, orientations du CM, patients avec déficiences en bâtonnets
- Opportunité d'atteindre une **taille d'échantillon concluante** (n = 56 analysés) – Expé **round 2** initiée (n=20 à 20, 50, 60 and 100 Hz)
- Opportunité de tester les seuils pour d'autres **indicateurs neurophysiologiques** – exposition jusqu'à **100 mT** (control postural/réponse vestibulaire, tremblement physiologique)

**↓**

**Données expérimentales solides, acquises chez l'humain, pour affiner les recommandations internationales (soutenu par ICNIRP et IEEE)**

© Copyright 2014 Alexandre Legros - Lawson Health Research 23 SFRP 2014 - 16 octobre - Limoge

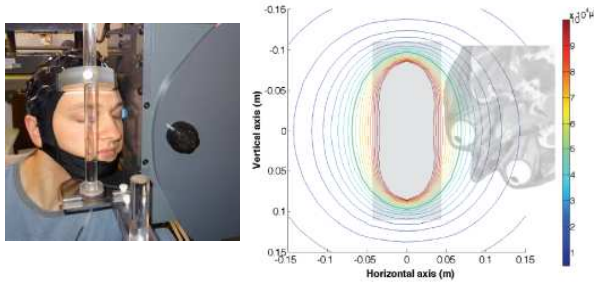
**Merci!**  
[alegros@lawsonimaging.ca](mailto:alegros@lawsonimaging.ca)



© Copyright 2014 Alexandre Legros - Lawson Health Research 24 SFRP 2014 - 16 octobre - Limoge

**Material - Methods**

- **Local exposure**, 176 turns of hollow copper wiring (water cooled) 22 cm diameter (Lynn Keenlside) ; **0-100 Hz** ; **0-100 mT<sub>rms</sub>**
- **Medical Grade** (CSA certification – Canadian Standards Association)



**Material - Methods**

- **3 MRI gradient amplifiers**, up to 200 A and 5 KW each
- **Head exposure design** (Lawson – Lynn Keenlside): 99 turns /coil, 21.4 cm radius, 20 cm apart, 120 A - 5 mT contour lines (**50 mT<sub>rms</sub>** in the center), **0 to 100 Hz**
- **Medical Grade** (CSA certification)

