

## Résumé et évaluation des études sélectionnées

De début août à début novembre 2018, 120 nouvelles publications ont été identifiées et quatorze d'entre elles ont été discutées de manière approfondie par le groupe d'experts BERENIS. Parmi ces quatorze publications, cinq, considérées comme particulièrement significatives, ont été sélectionnées aux fins de l'évaluation ; elles sont résumées ci-après.

### 1) Études animales et études cellulaires expérimentales

#### *Influences exercées par les champs électromagnétiques de haute fréquence sur le système reproducteur masculin (Houston et al. 2018)*

Des observations antérieures concernant une influence nuisible exercée par les CEM-HF sur les cellules du système reproducteur masculin ont été examinées plus en détail par Houston et al. (2018). À cette fin, des lignées de cellules et des cellules primaires de souris de différents stades de développement, de la cellule germinale au spermatozoïde mature, ont en effet été exposées à un CEM non modulé de 1,8 GHz (1 à 6 heures, TAS : 150 mW/kg). De plus, dans certaines de ces expériences des doses dix fois plus élevées (TAS : 1,5 W/kg) ont été appliquées ; leurs résultats étaient comparables, mais sans qu'une relation de dose à effet ait été clairement perceptible. Dans les spermatogonies (cellules germinales avant division méiotique) et dans les spermatocytes (cellules intermédiaires de la division méiotique), les auteurs ont constaté une augmentation significative du nombre de dérivés réactifs de l'oxygène (DRO, en anglais *reactive oxygen species*, ROS) dans les mitochondries, allant en s'amplifiant avec la durée d'exposition. En revanche, les spermatozoïdes matures et diverses cellules témoins différenciées d'autres tissus ne présentaient aucune augmentation du nombre de DRO. Les auteurs ont également tenté de déterminer l'origine de cette formation accrue de DRO. Cette quête a fourni des indices selon lesquels les CEM-HF perturbent un complexe de la chaîne mitochondriale de transfert d'électrons, responsable de la production de l'énergie cellulaire (sous la forme d'ATP). Cependant, ces cellules germinales paraissent capables de neutraliser les molécules réactives formées dans les mitochondries, rien n'indiquant que les acides gras (peroxydation lipidique) et le matériel génétique (ruptures des brins d'ADN et dommages oxydatifs) ont subi des dommages. À première vue, cette conclusion est en contradiction avec d'autres publications relatives à l'action d'un CEM-HF de 1,8 GHz sur la même lignée cellulaire de spermatocytes (par exemple : Liu *et al.* 2013 ; Li *et al.* 2018). Toutefois, les conditions d'exposition (durée plus longue, intensité plus élevée) ont pu jouer un rôle à cet égard et mener à une accumulation de DRO et finalement à des dommages cellulaires. Les spermatozoïdes matures quant à eux se sont comportés différemment, les auteurs n'ayant constaté aucune augmentation du nombre de DRO, mais une augmentation temporaire des indices de lésions de l'ADN ayant entraîné une réduction légère mais significative de la qualité du sperme (par exemple en ce qui concerne la mobilité) après quatre heures d'exposition.

Cette étude, menée avec rigueur, fournit de nouvelles indications quant à la formation possible de DRO dans le système reproducteur masculin à la suite d'une exposition à des CEM-HF, et aux conséquences sur les différents stades du développement de la spermatogenèse. Comme l'ont mentionné les auteurs, ces résultats obtenus sur les souris ne peuvent s'appliquer tels quels aux êtres humains, les sensibilités à l'exposition et les capacités à faire face aux déséquilibres de l'état d'oxydoréduction étant différentes.

*Étude du mécanisme de l'influence exercée par des champs magnétiques de basse fréquence sur des cascades de signaux cellulaires de base (Wu et al. 2018)*

Les nombreux résultats de l'étude *in vitro* de Wu *et al.* (2018) méritent d'être mentionnés même s'ils n'apportent pas d'éléments nouveaux directement liés aux atteintes à la santé causées par les champs électromagnétiques. Les auteurs décrivent en effet l'activation d'un réseau complexe de cascades de signaux et d'interactions par exposition à un CM-BF (50 Hz, 0,4 mT pendant 30 min), qui conduit finalement à une modification de la dynamique du cytosquelette (filaments microscopiques ou microtubules) pouvant affecter non seulement la structure et la mobilité des cellules, mais aussi le transport intracellulaire et les mécanismes de division cellulaire. Il a été démontré qu'un canal de calcium lié à une membrane cellulaire et un récepteur d'un facteur de croissance jouent un rôle essentiel. Il est intéressant de noter que de nombreux effets de l'exposition aux CEM décrits dans d'autres publications peuvent avoir été déclenchés par ces mécanismes de régulation (par exemple activation de cascades de signaux, limitation de la division cellulaire). En fait, l'activation ou la régulation de certains de ces composants a déjà été observée à plusieurs reprises, mais l'analyse et la démonstration probante des étapes du processus n'ont jamais été aussi complètes.

*Champs magnétiques de basse fréquence, cryptochromes et dérivés réactifs de l'oxygène (Sherrard et al. 2018)*

Le cryptochrome (CRY) est un photorécepteur, c'est-à-dire une protéine sensible à la lumière bleue et dont les autres fonctions nécessitent la présence de lumière. Le rôle des CRY en tant que récepteurs possibles du champ magnétique a été décrit en détail dans la [Newsletter BERENIS n° 13](#). Les CRY jouent un rôle décisif dans la perception du champ magnétique terrestre chez un grand nombre d'espèces animales telles que les oiseaux migrateurs. L'étude de Sherrard *et al.* (2018) a montré qu'un CM-BF pulsé (10 Hz) avec une amplitude de crête de 1,8 mT conduit à un comportement d'évitement chez les larves de mouches du vinaigre (*Drosophila*) et à la formation de dérivés réactifs de l'oxygène (DRO) dans les lignées cellulaires d'origine humaine et murine (cellules HEK [human embryonic kidney] et MEF [mouse embryonic fibroblast]). Fait intéressant, les auteurs ont constaté que ces réactions nécessitent la présence de CRY. Il ressort en effet d'expériences biochimiques et de techniques d'imagerie que l'exposition de cellules de mammifères à des CM-BF pulsés stimule la formation de DRO, ce qui est une indication en faveur d'une réponse au stress et d'un vieillissement cellulaire. De plus, la croissance cellulaire a été ralentie et l'expression de gènes dont on sait qu'elle est initiée par la formation de DRO a été induite.

Cette étude confirme que les CRY sont des magnétorécepteurs. Cependant, les résultats suggèrent également qu'ils sont responsables du comportement d'évitement accru des larves de drosophile et de la production de DRO dans les cellules de mammifères étudiées. Aux fins d'évaluation de cette indication, on a généré des mouches mutantes et des cellules déficientes en CRY (« knockout »). Des contrôles correspondants, c'est-à-dire des contrôles positifs (lumière bleue), ont également été effectués.

*L'exposition à des CEM-HF (1800 MHz) engendre une réduction de l'activité électrique spontanée dans des cultures de cellules neuronales (El Khoueiry et al. 2018).*

Dans l'étude d'El Khoueiry *et al.* (2018), l'activité électrique spontanée (activité en rafales [bursts]) dans des cultures de cellules neuronales embryonnaires de rats a été mesurée au moyen d'un dispositif de 60 électrodes. Les cultures ont été exposées à un CEM-HF (1800 MHz, TAS : 0,01 à 9,2 W/kg, signaux GSM et signaux non modulés) durant 15 minutes. Les auteurs ont constaté que le taux de rafales (burst-rate) – soit l'occurrence de rafales (bursts) – était réduit durant l'exposition et

que la réduction était fonction de la dose, tant pour l'exposition GSM que pour l'exposition continue (aucune modulation, même TAS). Pour la valeur TAS la plus élevée, cette réduction s'est encore manifestée après exposition et, pour l'exposition GSM, les effets étaient un peu plus prononcés que pour l'exposition sans modulation. Une légère diminution du taux de rafales a également été constatée lors d'une expérience de contrôle. L'exposition à des intensités élevées entraînant nécessairement une augmentation de la température, l'effet d'un échauffement direct des cultures cellulaires a aussi été étudié. Cet échauffement s'est traduit par une augmentation du taux de rafales, qui s'est poursuivie durant la phase de refroidissement. Les auteurs estiment que leurs résultats indiquent qu'il existe une influence dose-dépendante des CEM-HF sur l'activité neuronale, influence qui n'est pas uniquement d'ordre thermique. Toutefois, on ne peut exclure que les effets observés constituent un artefact de l'exposition. Afin de pouvoir tirer des conclusions pertinentes, d'autres scénarios d'exposition devraient être testés.

## **2) Études épidémiologiques**

*Champs électromagnétiques de haute fréquence et troubles du comportement chez les enfants de cinq ans (Guxens et al. 2018)*

L'étude de Guxens *et al.* (2018) portant sur 3102 enfants néerlandais de cinq ans a examiné la relation entre l'existence d'un CEM-HF à leur lieu d'habitation et les troubles de comportement. À cet effet, on a modélisé les CEM-HF émis par les stations de base pour téléphonie mobile du domicile. Des informations sur les sources intérieures (WLAN et stations de base des téléphones sans fil) ainsi que sur l'utilisation des téléphones sans fil et des téléphones portables ont été collectées par questionnaire. Les parents et les enseignants ont rempli un questionnaire validé portant sur plusieurs aspects des troubles du comportement. Même en tenant compte de nombreux autres paramètres, aucune relation entre troubles du comportement et utilisation des téléphones portables et des téléphones sans fil n'a été trouvée. Les enfants fortement exposés aux CEM-HF émis par les stations de base pour la téléphonie mobile présentaient plus souvent des symptômes émotionnels. Selon les enseignants, le comportement prosocial se manifestait moins souvent chez les enfants ayant des stations de base pour téléphone sans fil à la maison et selon les parents desdits enfants les relations de ceux-ci avec leurs camarades étaient moins bonnes. De plus, les mères d'enfants passant plus de 90 minutes par jour devant la télévision mentionnaient souvent avoir constaté des symptômes d'hyperactivité et d'inattention chez leurs enfants.

L'échantillon relativement important et la prise en compte d'un grand nombre d'éléments perturbateurs possibles constituent les points forts de cette étude. Néanmoins, il ne peut être exclu que les associations observées sporadiquement puissent être aléatoires ou dues à d'autres facteurs. Les associations varient selon que l'on se base sur les informations fournies par les parents ou sur celles fournies par les enseignants. Le niveau réel d'exposition n'est pas indiqué dans l'étude. De plus, les enfants de cinq ans passent généralement peu ou pas d'appels téléphoniques. Par conséquent, les affirmations concernant l'absence de lien entre l'utilisation d'un téléphone portable et d'un téléphone sans fil et les problèmes de comportement n'ont qu'une portée très limitée.

## **Bibliographie**

El Khouairy C, Moretti D, Renom R, Camera F, Orlacchio R, Garenne A, Poullietier de Gannes F, Poque-Haro E, Lagroye I, Veyret B, Lewis N (2018): **Decreased spontaneous electrical activity in neuronal**

**networks exposed to radiofrequency 1800 MHz signals.** J Neurophysiol. 2018 Aug 22.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30133383>

Guxens M, Vermeulen R, Steenkamer I, Beekhuizen J, Vrijkotte TGM, Kromhout H, Huss A (2018):  
**Radiofrequency electromagnetic fields, screen time, and emotional and behavioural problems in 5-  
year-old children.** Int J Hyg Environ Health. 2018 Oct 9.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30314943>

Houston BJ, Nixon B, King BV, Aitken RJ, De Iulii GN (2018): **Probing the Origins of 1,800 MHz Radio  
Frequency Electromagnetic Radiation Induced Damage in Mouse Immortalized Germ Cells and  
Spermatozoa in vitro.** Front Public Health. 2018 Sep 21;6:270.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30298125>

Li R, Ma M, Li L, Zhao L, Zhang T, Gao X, Zhang D, Zhu Y, Peng Q, Luo X, Wang M (2018): **The  
Protective Effect of Autophagy on DNA Damage in Mouse Spermatocyte-Derived Cells Exposed to  
1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Fields.** Cell Physiol Biochem 48(1).  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29996120>

Liu C, Duan W, Xu S, Chen C, He M, Zhang L, Yu Z, Zhou Z (2013): **Exposure to 1800 MHz  
radiofrequency electromagnetic radiation induces oxidative DNA base damage in a mouse  
spermatocyte-derived cell line.** Toxicol Lett 218(1).  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23333639>

Sherrard RM, Morellini N, Jourdan N, El-Esawi M, Arthaut LD, Niessner C, Rouyer F, Klarsfeld A,  
Doulazmi M, Witczak J, d'Harlingue A, Mariani J, Mclure I, Martino CF, Ahmad M (2018): **Low-  
intensity electromagnetic fields induce human cryptochrome to modulate intracellular reactive  
oxygen species.** PLoS Biol. 2018 Oct 2;16(10):e2006229.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30278045>

Wu X, Du J, Song W, Cao M, Chen S, Xia R (2018): **Weak power frequency magnetic fields induce  
microtubule cytoskeleton reorganization depending on the epidermal growth factor receptor and  
the calcium related signaling.** PLoS One. 2018 Oct 12;13(10):e0205569.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30312357>

## Personne de contact

Stefan Dongus  
Secrétariat BERENIS  
Institut tropical et de santé publique suisse (Swiss TPH)  
Département Épidémiologie et santé publique  
Unité Expositions environnementales et santé  
Socinstr. 57, case postale, 4002 Bâle  
Tél. : +41 61 284 81 11  
E-mail : stefan.dongus@swisstph.ch

---

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les liens suivants :

[Le groupe consultatif d'experts en matière de RNI \(BERENIS\)](#)

[Lien vers la liste des abréviations](#)