

Résumé et évaluation des études sélectionnées

De début mai à mi-juillet 2020, 65 nouvelles publications ont été identifiées et sept d'entre elles ont été discutées de manière approfondie par le groupe d'experts BERENIS. Parmi ces sept publications, trois, considérées comme particulièrement significatives, ont été sélectionnées aux fins de l'évaluation ; elles sont résumées ci-après.

1) Études animales et études cellulaires expérimentales

Magnétoréception dans l'oreille interne des pigeons (Nimpf et al. 2019)

Certaines espèces animales sont capables de percevoir les champs magnétiques et de les utiliser pour s'orienter. Différents mécanismes ont été discutés, mais on sait encore peu de choses sur l'existence, chez ces animaux, de structures cibles capables de reconnaître les champs magnétiques statiques et sur leur emplacement. L'étude de Nimpf *et al.* (2019) investigate si les pigeons possèdent, dans leur oreille interne, des structures qui reconnaissent les champs magnétiques statiques. Le but était de montrer que certaines structures et cellules de l'oreille interne détectent des champs magnétiques, indépendamment des signaux lumineux. Des stimuli magnétiques (150 μ T, effectuant des rotations de 360°) activent des cellules nerveuses dans le noyau vestibulaire inférieur des pigeons exposés dans une bobine de Helmholtz. Ces stimuli provoquent une tension dans un canal semi-circulaire et des senseurs électrosensibles reconnaissent les champs magnétiques par induction électromagnétique. Les chercheurs ont utilisé comme biomarqueurs des marqueurs d'activité neuronale comme la protéine c-fos, qui réagit très rapidement à un grand nombre de stimulations. Il a été montré que la stimulation due au champ magnétique provoque des pointes de tension (1,4 μ V) dans des structures canalaire situées dans des cellules de l'oreille interne, ce qui contribuerait à la perception des champs magnétiques. Il s'agit d'un canal calcique tensiodépendant (CAv1.3, à charge longue – de type L) déjà trouvé chez les requins et les raies. Le champ magnétique doit présenter une certaine orientation pour pouvoir être détecté. En plus des études expérimentales, des calculs théoriques ont été effectués. Il a pu être démontré que le champ magnétique est reconnu indépendamment de stimuli lumineux.

Ces nouveaux résultats sont intéressants, puisqu'ils confirment des études précédentes et indiquent l'existence de structures dans l'oreille interne capables de reconnaître des activités électriques indépendamment de la lumière. Sur cette base, les expériences suivantes pourraient être réalisées pour établir d'autres éléments de preuve : 1. influencer les canaux calciques avec des produits pharmacologiques, 2. effectuer une ablation (destruction ciblée) des cellules ciliées¹ avec des antibiotiques et/ou 3. effectuer une manipulation génétique sur le canal calcique.

Les CEM-HF (signal LTE) favorisent-ils le vieillissement cellulaire ? (Choi et al. 2020)

Dans cette étude, Choi *et al.* (2020) ont travaillé avec un CEM-HF modulé pour lequel il n'existe que peu de données expérimentales. Les auteurs ont utilisé un signal LTE typique (LTE = Long Term Evolution : réseau de la 4^e génération de téléphonie mobile) sur une fréquence porteuse de 1,7 GHz et ont étudié son influence sur différents aspects de la vitalité et de la prolifération de cellules cultivées. Lors de l'expérience, divers types de cellules provenant de différents tissus ont été exposées durant

¹ Les cellules ciliées sont les récepteurs sensoriels de l'oreille interne.

3 jours au CEM-HF, avec des valeurs TAS calculées de 1 et 2 W/kg. Les auteurs ont d'abord constaté que l'exposition de trois jours a, selon la dose, entraîné une réduction de la prolifération cellulaire d'environ 10 à 90 % par rapport à la population de contrôle non exposée. De façon générale, les résultats étaient plus marqués dans les cellules cancéreuses que, par exemple, dans les cellules souches du tissu adipeux ou les fibroblastes de la peau. Les chercheurs ont également essayé de trouver la cause des effets observés. Selon eux, le stress oxydatif et la formation de dérivés réactifs de l'oxygène (DRO) pourraient jouer un rôle, puisque les effets étaient atténués par l'apport d'un neutralisateur des DRO. Selon leurs résultats, la réduction de la prolifération cellulaire causée par l'exposition aux signaux LTE n'était pas due à une influence nuisible sur le génome ou au déclenchement de la mort cellulaire programmée (apoptose), mais à une accélération du processus de vieillissement cellulaire (sénescence). Une part plus élevée de cellules présentant des biomarqueurs de la sénescence a été trouvée dans les cultures exposées, accompagnée par un ralentissement du cycle cellulaire.

L'hypothèse qu'une exposition à un CEM-HF pourrait avoir des effets sur le processus de vieillissement cellulaire n'a été jusqu'ici que peu étudiée et mentionnée dans des études scientifiques. Il convient donc de noter les effets consistants sur différents types de cellule observés dans cette étude de Choi *et al.* (2020), bien conçue sur le plan méthodologique et bien réfléchi en ce qui concerne les phénomènes biologiques entrant en jeu. Il faut toutefois indiquer que l'appareil utilisé pour l'exposition est nouveau et n'est donc pas vraiment validé ; il permet certes un bon contrôle de la température, mais laisse ouvertes des questions concernant l'homogénéité du champ ; par ailleurs, il se peut que les valeurs TAS calculées aient été sous-estimées. Ces observations fournissent néanmoins des indications pour continuer à étudier de manière plus approfondie la question du vieillissement des cellules en lien avec l'exposition aux CEM-HF.

2) Études épidémiologiques

Champs électromagnétiques de haute fréquence et volumes du cerveau chez les enfants prépubères (Cabré-Riera et al. 2020)

Dans le cadre de l'étude néerlandaise « génération-R », 2592 enfants âgés de 9 à 12 ans ont été examinés pour déterminer s'il existe un lien entre l'exposition aux CEM-HF et le volume de différentes aires cérébrales. Le volume du cerveau de tous les participants à l'étude a été mesuré entre 2013 et 2015 à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique (IRM). L'utilisation d'appareils de communication sans fil (téléphones mobiles, téléphones sans fil, tablettes et ordinateurs portables avec connexion au réseau sans fil) a été établie sur la base d'un questionnaire rempli par les parents. L'exposition due aux émetteurs de radiodiffusion et aux stations de base de la téléphonie mobile a été modélisée pour le lieu de domicile et l'école. L'exposition dans d'autres lieux a été évaluée à l'aide de mesures personnelles du CEM-HF effectuées sur un échantillon de 56 enfants. Sur la base de toutes ces informations relatives à l'exposition, la dose de CEM-HF absorbée par diverses aires cérébrales a été calculée. Les analyses statistiques ont été corrigées pour tenir compte d'un grand nombre de facteurs de confusion possibles (p. ex. éducation et tabagisme éventuel de la mère ou indice de masse corporelle [IMC] et quotient intellectuel de l'enfant). La dose médiane quotidienne de CEM absorbée par le cerveau était de 84,3 mJ/kg. 62 % étaient dus aux appels avec un téléphone mobile ou un téléphone sans fil, 17 % à une activité devant un écran d'appareil mobile et 21 % à des sources de champs éloignés (stations de base DECT et de téléphonie mobile, émetteurs de radiodiffusion, point d'accès à des réseaux sans fil). Aucun volume des aires cérébrales étudiées ne

présentait une association avec la dose de CEM totale absorbée ou avec celle due aux sources de champs éloignés. En revanche, la dose de CEM due à une activité devant un écran était associée de manière significative avec un plus petit volume du lobe frontal et du noyau caudé. Selon la conclusion des auteurs, il se pourrait que ce soit non le CEM, mais d'autres facteurs en lien avec une utilisation intensive des écrans qui aient un effet sur ces aires cérébrales. D'autres explications, comme des facteurs de confusion (confounding), un résultat dû au hasard ou une causalité inversée, ne peuvent cependant pas être exclues.

Il s'agit d'une étude d'envergure avec des données précises sur le volume de diverses aires cérébrales, recueillies dans le cadre du projet GERoNiMo mené par l'UE². C'est une des rares études qui a estimé la dose de CEM absorbée par le cerveau, ce qui est plus pertinent que la seule analyse de l'utilisation des sources émettant un CEM. Une telle estimation comporte cependant inévitablement de grandes incertitudes. Le lobe frontal joue un rôle dans le contrôle des pulsions. Les ganglions de la base, dont fait aussi partie le noyau caudé, enclenchent des processus physiologiques et cognitifs ; ils assurent un processus de filtrage dans la boucle de contrôle des mouvements moteurs, en autorisant les mouvements désirés et possibles et en empêchant les mouvements non désirés ou impossibles dans la situation donnée ; l'activité spontanée de l'organisme est ainsi modulée. Les ganglions de la base reçoivent des informations de toutes les zones du cortex et transmettent des informations au cortex prémoteur et frontal via le thalamus. Cette voie permet la régulation rapide et coordonnée du déroulement de la motricité fine inconsciente et automatique. Dans une étude antérieure³ sur des enfants prépubères, un lien a été établi entre un noyau caudé plus petit et le trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH). À cet égard, il pourrait exister des modèles d'interconnexion semblables à ceux impliqués dans les tics, sauf que, dans le cas du TDAH, ce n'est pas un comportement donné qui serait généré de façon erronée, mais la fonction de filtrage qui serait, dans l'ensemble, inadéquate, ce qui déclencherait un comportement redondant ou « déplacé » (hyperactivité), alors que des nouvelles planifications de comportement seraient inhibées par erreur (déficit de l'attention). Par conséquent, il pourrait être plausible que les aires cérébrales plus petites soient la cause et non la conséquence d'une utilisation intensive de l'écran.

² Ce projet vise à étudier l'influence des CEM-HF sur la santé.

³ Carrey N, Bernier D, Emms M, Gunde E, Sparkes S, Macmaster FP, Rusak B (2012) : **Smaller volumes of caudate nuclei in prepubertal children with ADHD: impact of age**. J Psychiatr Res. 2012 Aug;46(8):1066-72. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022395612001392>

(« These novel findings suggest a different pattern of caudate volume abnormalities across narrow age clusters prior to puberty in boys with ADHD. Anatomical differences in brain structures related to ADHD in prepubertal children should be evaluated with respect to the changing developmental trajectory of brain regions within this period of rapid brain growth »)

Bibliographie

Cabré-Riera A, Marroun HE, Muetzel R, van Wel L, Liorni I, Thielens A, Birks LE, Pierotti L, Huss A, Joseph W, Wiart J, Capstick M, Hillegers M, Vermeulen R, Cardis E, Vrijheid M, White T, Rööslü M, Tiemeier H, Guxens M (2020) : **Estimated whole-brain and lobe-specific radiofrequency electromagnetic fields doses and brain volumes in preadolescents**. Environ Int. 2020 Sep;142:105808. Epub 2020 Jun 15. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32554140/>

Choi J, Min K, Jeon S, Kim N, Pack JK, Song K (2020) : **Continuous Exposure to 1.7 GHz LTE Electromagnetic Fields Increases Intracellular Reactive Oxygen Species to Decrease Human Cell Proliferation and Induce Senescence**. Sci Rep. 2020 Jun 8;10(1):9238. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32514068/>

Nimpf S, Nordmann GC, Kagerbauer D, Malkemper EP, Landler L, Papadaki-Anastasopoulou A, Ushakova L, Wenninger-Weinzierl A, Novatchkova M, Vincent P, Lendl T, Colombini M, Mason MJ, Keays DA (2019) : **A Putative Mechanism for Magnetoreception by Electromagnetic Induction in the Pigeon Inner Ear**. Curr Biol. 2019 Dec 2;29(23):4052-4059.e4. Epub 2019 Nov 14. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31735675>

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
Courriel : stefan.dongus@swisstph.ch

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

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

[La liste des abréviations](#)