

## Résumé et évaluation des études sélectionnées

De mi-octobre 2022 à mi-janvier 2023, 122 nouvelles publications ont été identifiées, dont six ont fait l'objet de discussions approfondies au sein du groupe d'experts BERENIS. Quatre d'entre elles ont été retenues comme particulièrement pertinentes au regard des critères de sélection. Elles sont résumées et évaluées ci-après.

### 1) *Études animales et études cellulaires expérimentales*

#### *Réponses au stress et hormèse chez des rats exposés à des CM-BF (Klimek et al. 2022)*

Dans cette étude expérimentale sur des rats, Klimek *et al.* (2022) ont cherché à savoir si leurs sujets présentaient des signes de stress et des réponses au stress correspondantes lorsqu'ils subissaient des expositions répétées (50 Hz, 1 mT et 7 mT). Les sujets étaient des rats Wistar mâles de trois mois. Ils ont été soumis à trois périodes d'exposition, avec des intervalles de trois semaines entre chaque période. Après chaque période d'exposition et test de stress subséquent, les chercheurs ont mesuré les hormones de stress et leurs récepteurs et évalué les comportements d'exploration et de peur des sujets. Leur étude se focalisait en particulier sur la réaction de stress de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien. Sur cet axe, un signal généré par l'hypophyse influence la production de corticostéroïdes dans les glandes surrénales. Il existe un mécanisme de rétroaction entre l'hypothalamus-hypophyse et les corticosurrénales. Ainsi, de forts taux plasmatiques de corticostéroïdes indiquent qu'une quantité moindre de corticostéroïdes doit être produite par les surrénales. Les recherches ont montré que les champs magnétiques de basses fréquences (CM-BF) ont un impact sur la propension à déclencher des réponses de stress en fonction de l'intensité des champs et des densités des flux. Tandis que les résultats obtenus pour une densité de 1 mT suggèrent une réponse neuroprotectrice et donc des effets thérapeutiques ainsi qu'une anxiolyse (réduction de la peur), les résultats pour 7 mT montrent le contraire. Ces observations correspondent à l'effet d'hormèse (du grec impulsion, élan ; en anglais « adaptive response »). Déjà formulé par Paracelse, l'hormèse est un principe biologique selon lequel une faible dose de substances nocives ou de poison peut avoir des effets bénéfiques sur un organisme.

Dans la lignée de ce principe, les auteurs obtiennent des résultats indiquant qu'une exposition répétée à un stress de faible ampleur protège contre d'autres agents stressants, alors qu'un stress accru a l'effet contraire. Si cet effet des CM-BF avec différentes densités de flux avait déjà été démontré dans une autre recherche sur les drosophiles, la présente étude est la première qui obtient de tels résultats chez des mammifères.

#### *Effets des CEM-HF générés par des technologies sans fil WiFi sur la chromatine des drosophiles (Cappucci et al. 2022)*

Cette étude s'est penchée sur les effets des champs électromagnétiques de hautes fréquences (CEM-HF, 2,436 GHz) sur l'état d'activation et sur la structure de la chromatine (ADN et protéines structurales associées du noyau de la cellule) chez des drosophiles (*Drosophila melanogaster*) du stade larvaire au stade adulte. En utilisant un dispositif d'exposition adéquat (une cellule TEM associée à un routeur WiFi issu du commerce), les chercheurs ont exposé des drosophiles tout au long de leur développement, jusqu'à l'âge adulte, à un signal WiFi continu (CEM moyen de 1,35 V/m). Les sujets

ont été comparés à un groupe de contrôle soumis à une exposition environ 13 fois plus faible. Les auteurs ont calculé une valeur SAR de 60,8 mW/kg pour le groupe exposé. Chez les sujets vieux de dix jours exposés, ils ont pu observer dans les têtes et dans les ovaires, mais pas dans les testicules, une expression accrue (activité génique) de séquences de génomes mobiles (transposons). Une telle activation de transposons était déjà connue pour d'autres stressseurs cellulaires comme le choc thermique. Cependant, comme les auteurs ont montré en réalisant une expérience de contrôle sur des mouches exposées à un choc thermique, l'augmentation de l'expression de transposons après une exposition à un CEM-HF est due à un autre mécanisme. L'exposition WiFi a entraîné une décondensation de l'hétérochromatine constitutive (chromatine condensée inactive), ce qui s'est traduit par une diminution de biomarqueurs pour la chromatine inactive (HP1 et modifications des histones) et par une modification de l'inactivation génique par l'hétérochromatine dans un modèle de test génétique. Les larves de mouche exposées ont également présenté des signes d'instabilité génomique et de décondensation de la chromatine dans des cellules cérébrales en division ainsi qu'une légère augmentation de la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) dans différentes régions du cerveau. En comparaison du groupe de contrôle, les sujets exposés ont montré une réduction de leur comportement locomoteur à la fois chez les larves et chez les adultes. Les larves ont également présenté une diminution de leur comportement d'évitement de la lumière. Enfin, l'étude s'est également intéressée aux liens entre les CEM-HF et la formation de métastases tumorales dans un modèle génétique. Les chercheurs ont observé une augmentation des métastases, ce qu'ils ont expliqué par le potentiel de mutation que renferme l'activation de transposons.

Il paraît utile de mentionner les observations de cette étude, en ce sens qu'il n'existe pour ainsi dire aucune étude comparable portant sur les effets des CEM sur l'hétérochromatine. Les régions génomiques répétitives comportant des transposons et des séquences virales (qui, selon l'organisme, peuvent représenter une part importante du matériel génétique – de 40 % à 45 % chez l'être humain) sont désactivées dans les cellules, ce qui empêche que des mutations se produisent par des éléments actifs. Elles ont longtemps été considérées comme de l'« ADN poubelle », car elles ne contenaient pas de gènes essentiels codants pour les cellules. Cependant, on pense aujourd'hui qu'elles jouent également un rôle structural et de régulation des gènes. On a pu ainsi récemment mettre en relation l'activation d'éléments rétroviraux dans l'hétérochromatine avec le vieillissement des cellules et des organismes. En conclusion, les observations de Cappucci *et al.* (2022) concernant la décondensation de l'hétérochromatine, l'activation de transposons et les modifications de comportement décrites ainsi que l'augmentation des métastases en cas d'exposition à un CEM-HF pourraient donc constituer un point de départ pertinent pour poursuivre les recherches en la matière.

## **2) Études épidémiologiques**

### *Analyse du profil métabolique de personnes atteintes de fibromyalgie et d'hypersensibilité électromagnétique (Piras et al. 2022)*

Cette étude compare le profil métabolomique de 31 participants (30 femmes, 1 homme) ayant reçu un diagnostic de fibromyalgie et déclarant eux-mêmes souffrir d'électrohypersensibilité (EHS) avec celui de 23 participants sains (21 femmes, 2 hommes). Les auteurs ont employé la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM) pour déterminer les métabolites dans le plasma sanguin. Au total, 19 métabolites impliqués dans diverses voies métaboliques étaient différents d'un groupe à l'autre. Les voies métaboliques concernent le métabolisme énergétique, les processus métaboliques des muscles ainsi que les défenses contre le stress oxydatif et les douleurs

chroniques. Une étude précédente (Piras *et al.* 2020)<sup>1</sup> avait déjà comparé les deux groupes en employant la spectroscopie RMN H.

La fibromyalgie est définie comme un rhumatisme des parties molles généralisé de cause inconnue. Le diagnostic est posé selon des critères validés. Les symptômes principaux sont des douleurs chroniques des parties molles, souvent accompagnées de fatigue, de troubles du sommeil, de troubles cognitifs, de déprime et d'anxiété. Les analyses de laboratoire et l'imagerie de routine ne montrent rien d'anormal. La fibromyalgie est souvent associée à d'autres maladies fonctionnelles telles que le syndrome de l'intestin irritable ou la migraine. Les patients atteints d'EHS souffrent également de divers symptômes que la médecine ne sait expliquer. Il existe ainsi des similitudes entre la fibromyalgie et l'EHS. Fait intéressant, mais pas surprenant ni nouveau : la symptomatologie complexe affectant simultanément plusieurs organes va de pair avec des changements métaboliques. D'après les auteurs, les résultats suggéreraient que le métabolisme pourrait subir des modifications chez les sujets EHS. Cette conclusion relève de la surinterprétation, car les sujets de cette étude présentent à la fois une fibromyalgie et une EHS et que l'étude n'emploie aucun groupe de contrôle comprenant des sujets avec fibromyalgie mais sans EHS. Les changements décrits pourraient très bien résulter d'autres facteurs également (p. ex. consommation alimentaire ou comorbidités).

*Exposition à des CM-BF à proximité de lignes à haute tension en Slovénie et risque de cancer chez des enfants et des adolescents (Zagar et al. 2023)*

Des études épidémiologiques antérieures avaient montré qu'une exposition de longue durée à des champs magnétiques de basses fréquences (CM-BF), d'intensité supérieure à 0,3  $\mu$ T, comme elle peut survenir dans des logements à proximité de lignes à haute tension, pourrait constituer un facteur de risque de leucémie chez les enfants. L'étude de Zagar *et al.* (2023) avait pour objectif, d'une part, de modéliser de manière détaillée l'exposition CM-BF due aux lignes à haute tension pour l'ensemble de la Slovénie et, d'autre part, d'examiner si le fait de loger à proximité de lignes à haute tension avait une incidence sur l'apparition de cancers en général, et plus particulièrement de leucémies et de tumeurs au cerveau chez les enfants et les adolescents. Pour ce faire, les auteurs ont utilisé les données du registre national slovène du cancer pour une période de douze ans (de 2005 à 2016 : les cancers pour le groupe des 0 à 14 ans, les leucémies pour le groupe des 0 à 19 ans, et les tumeurs du cerveau pour le groupe des 0 à 29 ans). Tous les cas recensés ont été répartis en cinq catégories d'exposition CM-BF sur le lieu d'habitation (catégorie la plus faible : < 0,1  $\mu$ T ; catégorie la plus élevée :  $\geq$  0,4  $\mu$ T ; trois catégories intermédiaires entre 0,1 et 0,4  $\mu$ T). La catégorie d'exposition en deçà de 0,1  $\mu$ T comprenait 99,5 % de la population étudiée, avec 516 cas de cancers au total. Seuls 0,5 % des enfants et des adolescents slovènes de l'étude vivaient sur des sites où l'exposition CM-BF moyenne était égale ou supérieure à 0,1  $\mu$ T. Seuls 0,09 % de tous les enfants avaient vécu au moins un ans dans une zone où l'exposition dépassait 0,4  $\mu$ T. L'étude a recensé un cas de leucémie dans la catégorie de 0,1 à 0,2  $\mu$ T et un cas de tumeur au cerveau dans la catégorie de 0,2 à 0,3  $\mu$ T. Elle n'a trouvé aucun cas de maladie au-delà de 0,3  $\mu$ T. Dans leur analyse, les auteurs ont comparé le nombre de cas réels avec le nombre de cas attendus. S'agissant du risque de cancer, ils n'ont observé aucune différence significative entre les enfants et les adolescents plus exposés et les autres individus du même âge.

Un des points forts de cette étude réside dans la bonne modélisation de l'exposition, réalisée sur la base de données à haute résolution sur les flux d'électricité mises à disposition par les fournisseurs

<sup>1</sup> Piras C, Conte S, Pibiri M, Rao G, Muntoni S, Leoni VP, Finco G, Atzori L (2020) : **Metabolomics and psychological features in fibromyalgia and electromagnetic sensitivity**. Sci Rep. 2020 Nov 24;10(1):20418. doi: 10.1038/s41598-020-76876-8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33235303/>

d'électricité. On notera toutefois que l'étude ne tient pas compte des sources propres (raccordements domestiques, appareils électriques). L'analyse n'intègre aucun facteur de confusion, mais il faut souligner qu'aucun facteur parasite significatif n'est connu pour les tranches d'âge concernées. L'étude expose de manière claire les difficultés qui surviennent dans le traitement de cette problématique. Les cas de cancers chez les enfants et les adolescents sont par nature relativement rares et seule une faible proportion de la population est soumise à une forte exposition CM-BF sur son lieu de vie. C'est pourquoi la pertinence statistique d'une étude isolée telle celle-ci est très restreinte. D'un autre côté, l'étude montre que, même dans l'hypothèse d'un doublement du risque de cancer dû à l'exposition CM-BF, le nombre de cas de cancer supplémentaires auxquels il faut s'attendre demeurerait faible, car seule une mince proportion de la population est exposée à des intensités supérieures au seuil de suspicion.

#### **4) Autres publications pour information**

*Modélisations assistées par ordinateur de l'exposition pour différentes architectures de réseaux 5G en Suisse*

Castellanos *et al.* (2022)<sup>2</sup> ont publié une étude dans laquelle ils évaluent, sur la base de modélisations assistées par ordinateur, différentes architectures 5G en Suisse, en fonction de l'exposition aux champs électromagnétiques (CEM), de la qualité de connexion et de la durabilité.

*Rapport de l'UE sur les risques sanitaires des CEM HF*

Un rapport sur les risques sanitaires liés aux CEM HF a été rédigé par le *Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER)* sur mandat de l'UE. Après que la version préliminaire ait été soumise à un débat public d'août à septembre 2022, le rapport complet a été publié en juin 2023<sup>3</sup>.

#### **Bibliographie**

Cappucci U, Casale AM, Proietti M, Marinelli F, Giuliani L, Piacentini L (2022) : **WiFi Related Radiofrequency Electromagnetic Fields Promote Transposable Element Dysregulation and Genomic Instability in *Drosophila melanogaster***. *Cells*. 2022 Dec 13;11(24):4036. doi : 10.3390/cells11244036. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36552798/>

Klimek A, Kletkiewicz H, Siejka A, Wyzkowska J, Maliszewska J, Klimiuk M, Jankowska M, Seckl J, Rogalska J (2022) : **New View on the Impact of the Low-Frequency Electromagnetic Field (50 Hz) on**

---

<sup>2</sup> Castellanos G, De Gheselle S, Martens L, Kuster N, Joseph W, Deruyck M, Kuehn S (2022) : **Multi-objective optimisation of human exposure for various 5G network topologies in Switzerland**. *Comput Netw* 2022; 216: 109255. doi : 10.1016/j.comnet.2022.109255. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109255>

<sup>3</sup> SCHEER (2023): **Opinion on the need of a revision of the annexes in Council Recommendation 1999/519/EC and Directive 2013/35/EU, in view of the latest scientific evidence available with regard to radiofrequency (100kHz - 300GHz)**. Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks, adopted by written procedure on 18 April 2023. [https://health.ec.europa.eu/consultations/scheer-public-consultation-preliminary-opinion-scientific-evidence-radiofrequency\\_en](https://health.ec.europa.eu/consultations/scheer-public-consultation-preliminary-opinion-scientific-evidence-radiofrequency_en)

**Stress Responses: Hormesis Effect.** Neuroendocrinology. 2022 Nov 2;113(4):423-441. doi : 10.1159/000527878. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36323227/>

Piras C, Pibiri M, Conte S, Ferranti G, Leoni VP, Liggi S, Spada M, Muntoni S, Caboni P, Atzori L (2022) : **Metabolomics analysis of plasma samples of patients with fibromyalgia and electromagnetic sensitivity using GC-MS technique.** Sci Rep. 2022 Dec 19;12(1):21923. doi : 10.1038/s41598-022-25588-2. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36535959/>

Zagar T, Valic B, Kotnik T, Korat S, Tomsic S, Zadnik V, Gajsek P (2023) : **Estimating exposure to extremely low frequency magnetic fields near high-voltage power lines and assessment of possible increased cancer risk among Slovenian children and adolescents.** Radiol Oncol. 2023 Jan 8;57(1):59-69. doi : 10.2478/raon-2023-0002. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36609540/>

## Contact

Stefan Dongus  
Secrétariat BERENIS  
Institut tropical et de santé publique suisse (Swiss TPH)  
Département Épidémiologie et santé publique  
Unité Expositions environnementales et santé  
Kreuzstrasse 2, 4123 Allschwil  
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 \(PDF\)](#)