

Résumé et évaluation des études sélectionnées

De novembre 2023 à mi-janvier 2024, 58 nouvelles publications ont été identifiées, dont six ont fait l'objet de discussions approfondies au sein du groupe BERENIS. Trois d'entre elles ont été retenues comme particulièrement pertinentes au regard des critères de sélection. Elles sont résumées et évaluées ci-après. Par ailleurs, un quatrième article (Crespi *et al.* 2024), dont la date de publication correspond à la période de revue suivante, est résumé de manière anticipée dans la présente newsletter en raison des similitudes thématiques.

1) *Études animales et études cellulaires expérimentales*

Champs électromagnétiques de haute fréquence et développement d'embryons de poissons-zèbres (Torres-Ruiz *et al.* 2024)

Torres-Ruiz *et al.* (2024) ont étudié l'influence des champs électromagnétiques de haute fréquence (CEM-HF, de 700 et de 3500 MHz) sur le comportement (peur et activité, apprentissage, habituation aux stimuli) et sur les modifications morphologiques possibles (taille des yeux et structures dans l'organe de l'équilibre) chez des embryons de poissons-zèbres. En raison de certaines similitudes avec les êtres humains, les poissons-zèbres conviennent bien pour étudier des effets potentiels sur la santé au cours du développement.

L'étude émet pour hypothèse de départ que les stades précoces du développement embryonnaire sont particulièrement sensibles aux influences environnementales. Elle a exposé des embryons de poissons-zèbres à des CEM-HF durant des périodes de 1 heure et 4 heures, pour les deux fréquences, à un niveau d'exposition de 34-35 V/m, soit en deçà des valeurs limites recommandées par la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (61 V/m pour 3500 MHz et 36,4 V/m pour 700 MHz) et des valeurs TAS de 1 à 1,2 W/kg. Les chercheurs ont ensuite analysé les mouvements en présence de lumière et dans l'obscurité, la toxicité et les effets sur le développement, l'habituation aux bruits et les stimuli visuels.

Après 4 heures d'exposition au CEM-HF de 700 MHz, les chercheuses et chercheurs ont observé une activité moindre (réduction d'env. 24 %) ainsi qu'une diminution des comportements anxieux ; lors de l'exposition à la fréquence de 3500 MHz, aucun effet sur l'activité, mais une augmentation des comportements anxieux. Dans les deux cas de fréquence, la capacité d'apprentissage des animaux était diminuée après exposition. Pour la fréquence de 700 MHz uniquement (expositions de 1 heure et 4 heures), les auteurs ont noté une diminution significative de l'acétylcholinestérase, de l'ordre de 20 %. Il s'agit d'une enzyme qui, dans la fente synaptique, inhibe le neurotransmetteur actif acétylcholine. La diminution de l'acétylcholinestérase engendre donc une augmentation permanente de la quantité d'acétylcholine disponible. Cette dernière transmet les signaux entre les cellules nerveuses et joue un rôle central dans le pilotage de nombreuses fonctions du corps comme la respiration, la mémoire, les fonctions cognitives et l'activité musculaire. Ce résultat pourrait expliquer, au moins en partie, la diminution d'activité. Les résultats de l'étude montrent que l'exposition aux CEM-HF aux fréquences de 700 MHz (1 heure et 4 heures) et de 3500 MHz (1 heure) s'accompagne d'une habituation moindre aux stimuli et entrave par là même l'apprentissage non associatif. De telles difficultés d'apprentissage sont décrites pour des personnes ayant des problèmes neurologiques, par exemple des personnes autistes ou atteintes de Parkinson ou de schizophrénie ou présentant des déficits d'attention.

Dans l'étude, l'exposition aux CEM-HF n'avait aucune incidence sur la mortalité, sur l'éclosion ni sur la longueur du corps (donc globalement sur le développement embryonnaire) des jeunes poissons-zèbres. Les chercheuses et chercheurs n'ont donc trouvé aucun signe qui laisserait à penser que les expositions de courte durée puissent être toxiques pour le développement embryonnaire. Ils ont observé de faibles modifications morphologiques des structures dans l'organe de l'équilibre ainsi que pour la taille des yeux (5 %).

Bien que cette étude ait contrôlé la température, elle n'a pas utilisé d'exposition simulée, mais uniquement un groupe de contrôle d'individus détenus dans la même pièce. De manière générale, les différents effets dépendaient de la fréquence et de la durée d'exposition, et les effets étaient souvent plus marqués pour la fréquence de 700 MHz par rapport à celle de 3500 MHz CEM-HF.

2) Études épidémiologiques

Logements à proximité de transformateurs électriques et risque de leucémie chez les enfants (Malavolti et al. 2024 et Crespi et al. 2024)

Deux groupes de chercheurs, Malavolti et al. (2024) et Crespi et al. (2024), ont cherché à comprendre s'il existait un lien entre la leucémie dans l'enfance et l'exposition à des champs magnétiques de basse fréquence (CM-BF), en particulier dans le contexte des transformateurs électriques souvent utilisés dans les bâtiments d'habitation. Aucune des deux études n'a pu identifier un tel lien.

L'étude de Malavolti et al. a analysé 182 cas de leucémie de l'enfant ainsi que 726 individus de contrôle sélectionnés selon des facteurs d'équivalence : le sexe, l'année de naissance et les provinces (nord de l'Italie). L'étude de Crespi et al. a tenu compte de cas dans cinq pays (Finlande, Israël, Hongrie, Pays-Bas et Suisse). Elle a réalisé une analyse groupée cas-témoins comprenant 76 cas et 20 491 individus de contrôle.

Tandis que l'étude de Malavolti et al. a considéré tous les logements situés dans des rayons inférieurs à 15 m (hautement exposés) et inférieurs à 25 m (moyennement exposés) d'un transformateur, l'étude de Crespi et al. a classé les logements comme exposés seulement lorsque ceux-ci partageaient une paroi ou un sol avec un local à transformateur (et qui étaient situés typiquement à une distance de moins de 15 m d'un transformateur). Cependant, ni la première étude (2 cas dans le rayon des 15 m et 5 cas dans celui des 25 m) ni la seconde (3 cas dans la catégorie d'exposition élevée et 16 dans la catégorie d'exposition moyenne) ne comptaient beaucoup d'enfants fortement exposés. Les deux études concèdent à juste titre que les scénarios à forte exposition sont extrêmement rares, et que l'identification d'un lien avec une maladie comme la leucémie, rare elle aussi, est plutôt improbable, même en regroupant des données de plusieurs pays.

Aussi bien l'étude de Crespi (1,39 ; intervalle de confiance [CI] 95 % : 0,77-2,52) que celle de Malavolti (1,0 ; CI 95 % : 0,2-4,9) n'ont trouvé que des odds ratios¹ ne suggérant aucun lien et entourés de grands intervalles de confiance s'agissant du risque d'être atteint de leucémie, lorsque l'exposition CM-BF due à un transformateur est élevée (catégorie d'exposition élevée pour l'étude de Crespi et rayon de 15 m pour l'étude de Malavolti). Prendre en compte les transformateurs dans le rayon plus large de 25 m (chez Malavolti) ou de l'exposition moyenne (chez Crespi) n'a pas changé les résultats. Même une analyse spécifique de 2 cas fortement et 8 cas moyennement exposés par rapport respectivement

¹ Le odds ratio représente la « probabilité » accrue d'être atteint d'une maladie, dans le cas présent la leucémie pour les enfants vivant à proximité d'un transformateur. Un odds ratio de 1 signifie que la probabilité d'être atteint de leucémie est la même pour les individus fortement exposés que pour ceux faiblement exposés. Le CI de 95 % décrit l'incertitude relative à l'odds ratio. Dans cette étude, la précision est très faible. Avec un tel intervalle de confiance, des effets tant protecteurs que néfastes sont possibles.

à 2396 et 15 050 individus de contrôle dans une cohorte imbriquée utilisant uniquement les données finlandaises (Crespi) n'a rien changé aux conclusions. Cette analyse, qui a tenu compte également de l'historique des logements habités, a révélé des odds ratios incertains pour les expositions tant élevées (1,7 ; CI 95 % : 0,2-13,6) que moyennes (0,6 ; CI 95 % : 0,1-2,6). Dans l'étude de Malavolti, les autrices et auteurs surinterprètent l'association plus forte trouvée pour les enfants à partir de 5 ans (1,3 ; CI 95 % : 0,1-12,8) et ignorent le résultat d'une association « protectrice » et également incertaine chez les enfants de moins de 5 ans (0,7 ; CI 95 % : 0,1-6,6).

Un point qu'il convient de critiquer dans ces deux études est le fait que les autrices et auteurs, dans leur exposition estimée, utilisent la distance au transformateur comme mesure de l'intensité du champ magnétique, alors qu'en réalité cette intensité peut varier. Les deux études n'excluent pas la possibilité d'une certaine erreur de classification de l'exposition et mentionnent qu'il est particulièrement difficile de recevoir des informations sur l'emplacement exact et le moment auquel les transformateurs ont été installés. Quoiqu'il en soit, l'explication la plus plausible pour les résultats imprécis est l'association d'une exposition extrêmement rare avec une maladie extrêmement rare.

3) Études avec des humains

Les champs électromagnétiques de haute fréquence ont-ils une influence sur le sommeil des prématurés ? (Basset et al. 2023)

L'objectif de cette étude était d'examiner l'influence des champs électromagnétiques de haute fréquence (CEM-HF) sur les comportements pendant le sommeil chez les prématurés. Aux soins intensifs de néonatalogie, les prématurés sont constamment exposés à des CEM-HF de faible intensité. L'étude a mesuré en continu le niveau d'exposition aux CEM-HF au cours des 21 jours après la naissance chez 29 prématurés (18 filles et 11 garçons). L'appareil de mesure était systématiquement installé sur la paroi de l'incubateur. À l'issue de cette période, l'étude a également enregistré le sommeil sur une durée de douze heures, en déterminant les paramètres de sommeil. L'exposition chronique aux CEM-HF (sur trois semaines) était de $0,03 \pm 0,01$ V/m au niveau de la médiane (exposition moyenne ; prédominante pendant 50 % du temps) et de $0,24 \pm 0,11$ V/m au niveau du 99^e percentile (exposition élevée ; prédominante pendant 1 % du temps). Pour l'exposition aiguë aux CEM-HF, l'étude a utilisé les valeurs correspondantes des dernières 24 heures, soit $0,03 \pm 0,02$ et $0,12 \pm 0,09$ V/m. Pour déterminer l'influence de l'exposition, les chercheuses et chercheurs ont mis en corrélation les valeurs d'exposition et les paramètres du sommeil. Dans le cas de l'exposition chronique, ils ont observé, pour les valeurs d'exposition moyennes et élevées, une corrélation principalement positive avec la fragmentation du sommeil. S'agissant de l'exposition aiguë, les valeurs d'exposition moyennes présentaient une corrélation négative avec la période de sommeil tandis que les valeurs d'exposition élevées présentaient une corrélation positive avec la fragmentation du sommeil. Les corrélations expliquent environ 15 % à 25 % de la variation. Cependant, elles deviennent moins significatives après une correction pour test multiple, ce qu'on peut interpréter comme une indication que l'exposition aux CEM-HF ne perturbe pas le sommeil chez les prématurés aux soins intensifs de néonatalogie.

L'étude propose une approche intéressante pour explorer les effets potentiels des CEM-HF sur les prématurés. Faute d'alternative, tous les prématurés sont aux soins intensifs. Partant, il n'y a pas de groupe de contrôle non exposé aux CEM-HF. Le sommeil est un élément intéressant en ceci qu'une augmentation de la continuité du sommeil est un signe de maturation du cerveau. Les chercheuses et chercheurs ont observé ici une fragmentation. Toutefois, on peut se demander si le sommeil est véritablement en mesure de donner des indications relatives à la maturation du cerveau durant les

trois premières semaines de vie. De plus, il existe de nombreux autres facteurs qui n'ont pas été pris en compte dans l'étude, comme le contact avec le personnel soignant, les parents ou le bruit.

Bibliographie

Basset D, Selmaoui B, Delanaud S, Bessarion L, Chardon K, de Seze R, Leke A, Stéphan-Blanchard E (2023) : **Influence of radiofrequency electromagnetic fields exposure on sleep patterns in preterm neonates.** Int J Radiat Biol. 2023 Nov 16:1-6. <https://doi.org/10.1080/09553002.2023.2277365>

Crespi CM, Sudan M, Juutilainen J, Roivainen P, Hareuveny R, Huss A, Kandel S, Karim-Kos HE, Thuróczy G, Jakab Z, Spycher BD, Flueckiger B, Vermeulen R, Vergara X, Kheifets L (2024) : **International study of childhood leukemia in residences near electrical transformer rooms.** Environ Res. 2024 Feb 11;249:118459. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118459>

Malavolti M, Malagoli C, Wise LA, Poli M, Notari B, Taddei I, Fabbi S, Teggi S, Balboni E, Pancaldi A, Palazzi G, Vinceti M, Filippini T (2023) : **Residential exposure to magnetic fields from transformer stations and risk of childhood leukemia.** Environ Res. 2023 Dec 24 ; 245:118043. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.118043>

Torres-Ruiz M, Suárez OJ, López V, Marina P, Sanchis A, Liste I, de Alba M, Ramos V (2024) : **Effects of 700 and 3500 MHz 5G radiofrequency exposure on developing zebrafish embryos.** Sci Total Environ. 2024 Jan 9 ; 915:169475. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169475>

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 de spécialistes en matière de RNI \(BERENIS\)](#)

[Base de données de toutes les newsletters BERENIS avec fonction de recherche](#)

[Lien vers la liste des abréviations](#)