

Résumé et évaluation des études sélectionnées

De fin octobre 2024 à fin janvier 2025, 105 nouvelles publications ont été identifiées, dont trois ont fait l'objet de discussions approfondies au sein du groupe BERENIS. Toutes les trois 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

Effets des champs magnétiques de basse fréquence sur des cellules matures (Sun et al. 2025)

Cette étude *in vitro* a posé la question de savoir si des cellules âgées (sénescents) étaient plus sensibles à une exposition à un champ magnétique de basse fréquence (CM-BF) de 50 Hz durant 24 heures (1 mT, onde sinusoïdale) que des fibroblastes pulmonaires humains fraîchement isolés. Contrairement aux cellules cancéreuses, les cultures de cellules primaires ont une durée de vie limitée, leur potentiel de division diminuant avec l'âge et les modifications physiologiques et moléculaires qui l'accompagnent. Ce phénomène biologique est connu sous le nom de sénescence. En analysant des lésions causées à l'ADN (test des comètes, et biomarqueur des cassures double brin de l'ADN), les auteurs ont constaté que l'exposition à un CM-BF de 50 Hz n'avait aucune influence ou ne causait qu'une légère réduction dans les cultures de cellules « jeunes », tandis que des cellules sénescents divisées plus de 50 fois ont réagi à l'exposition par une multiplication des lésions de l'ADN, étant entendu que pour ces cellules des niveaux de fond étaient déjà plus élevés lors des contrôles. Le déclenchement ciblé de la sénescence par l'agent de blanchiment qu'est le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) a entraîné un effet comparable : les cellules âgées ont réagi au champ magnétique de 50 Hz en multipliant les lésions causées à l'ADN. En outre, après l'exposition, une légère hausse des dérivés réactifs de l'oxygène (DRO) et des concentrations intracellulaires de calcium a été observée dans les cultures de cellules sénescents, mais pas dans les cultures de cellules « jeunes ». Ces effets sont attribués à une libération plus rapide du calcium des mitochondries par un pore membranaire spécifique (mPTP), un blocage pharmacologique de ce pore ayant empêché non seulement la production de DRO due à l'exposition mais aussi les lésions de l'ADN.

Cette étude cellulaire a été très bien faite du point de vue de la réalisation expérimentale et technique, mais la mise en œuvre des expositions simulées dans un incubateur séparé s'accompagne d'un certain nombre d'incertitudes. Elle fournit des indications mécanistiques intéressantes et montre que la réaction au CM-BF devrait être considérée en fonction de l'état des cellules et non pas de manière généralisée. En revanche, il n'est pas définitivement prouvé que les résultats d'un tel modèle basé sur des cultures de cellules soient transposables au processus normal de vieillissement humain. À cet égard, des études complémentaires sont nécessaires.

2) Études de mesures

Mesures d'exposition en Suisse : champs magnétiques de basse fréquence de sources environnementales (Loizeau et al. 2024) et expositions aux liaisons descendantes et montantes de haute fréquence depuis l'introduction de la 5G (Veludo et al. 2025)

Les études menées par Loizeau et al. (2024) et par Veludo et al. (2025) ont analysé de réelles situations d'exposition en Suisse, dans des environnements définis (dans des espaces extérieurs,

dans des lieux publics et lors de trajets en moyens de transport). L'accent a été mis sur des scénarios typiques de CM-BF de sources environnementales fréquentes (Loizeau *et al.* 2024), ainsi que sur les expositions aux liaisons descendantes et montantes depuis l'introduction de la 5G (Veludo *et al.* 2025).

Dans le cadre de l'étude de Loizeau, le CM-BF a été mesuré dans 300 espaces extérieurs (urbains, industriels et ruraux), dans 248 lieux publics (gares, commerces, restaurants, écoles, etc.), lors de 348 trajets en moyens de transport (train, tram, bus, métro, téléphérique et voiture) et dans 59 logements (à proximité de lignes à haute et moyenne tension, de lignes de chemin de fer et de tram, et de postes de transformation). L'appareil de mesure, un ExpoM-ELF, a été soit transporté dans le sac à dos des chercheurs, soit placé sur un trépied pour effectuer les mesures dans les logements. Les valeurs de CM-BF les plus élevées ont été mesurées dans des gares, dans des trains et à des arrêts de tram, tandis que les plus faibles ont été enregistrées dans des aéroports, dans des téléphériques et dans des espaces verts. Dans le cadre privé, les valeurs de CM-BF maximales ont été observées clairement dans des logements proches de lignes à haute tension, suivis des logements situés près des transformateurs et des lignes de chemin de fer et de tram. Tous ces logements présentaient des valeurs plus élevées que les logements de référence sans de telles sources environnementales dans leur voisinage. Toutes les valeurs mesurées étaient nettement inférieures aux valeurs limites suisses d'exposition environnementale. Néanmoins, 2,9 % des mesures réalisées dans des logements et 1,2 % de celles effectuées dans des établissements d'enseignement, soit des « lieux à utilisation sensible »¹, ont dépassé la valeur limite suisse fixée, à titre préventif, à 1,0 µT pour les lignes à haute tension. Même si plusieurs sources contribuent à ce dépassement, cette valeur limite s'applique séparément à chaque installation. Dans la plupart des logements où la valeur mesurée a dépassé 1,0 µT, l'exposition s'explique vraisemblablement par la proximité des lignes à haute tension, sauf dans le cas d'une maison pour laquelle l'exposition a été attribuée à un lit à eau chauffé auquel la valeur limite fixée à titre préventif ne s'applique pas. Un dépassement est également possible si l'exploitant prouve que toutes les mesures raisonnables ont été prises pour réduire l'exposition.

Les corrélations entre les mesures effectuées en 2021-2022 et en 2023-2024 dans les mêmes environnements étaient modérées dans les transports publics et élevées dans la plupart des espaces extérieurs et des lieux publics, ce qui suggère des contrastes d'exposition stables au fil du temps.

Par ailleurs, les chercheurs ont mis au point une matrice d'exposition environnementale afin d'évaluer les expositions typiques sur la base du domicile (proximité des lignes électriques, des lignes de chemin de fer ou sans sources environnementales), du lieu de travail (dans le train, dans une zone industrielle ou dans une école) et des moyens de transport empruntés pour se rendre au travail (train, tram, voiture). Les chercheurs attirent l'attention sur des différences considérables au sein d'environnements similaires, ce qui peut entraîner une classification erronée de l'exposition en cas d'utilisation de la matrice dans des études épidémiologiques, même avec des cohortes dont les modèles journaliers sont connus.

Dans l'étude de Veludo, des expositions environnementales et auto-induites à des champs électromagnétiques de haute fréquence (CEM-HF) ont été mesurées dans différents endroits, dont des espaces extérieurs urbains, industriels et ruraux, ainsi que des lieux publics comme des gares, des commerces et des universités. L'appareil de mesure, un ExpoM-RF4, a été transporté dans un sac à dos afin d'enregistrer des valeurs de CEM-HF dans 35 bandes de fréquences différentes. Trois scénarios ont été mesurés : (1) un scénario non-utilisateur avec le téléphone portable en mode avion pour relever le rayonnement ambiant ; (2) un scénario maximal de liaison descendante où un fichier

¹ Au sens de l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant

a été téléchargé d'un serveur à de multiples reprises ; et (3) un scénario maximal de liaison montante où un fichier a été téléversé sur un serveur à de multiples reprises.

Les valeurs moyennes de CEM-HF dans les scénarios non-utilisateur et maximal de liaison descendante étaient plus élevées dans les zones urbaines que rurales. À l'inverse, les valeurs mesurées dans le scénario maximal de liaison montante étaient plus élevées dans les zones rurales, du fait de la plus faible qualité du signal des stations de base, ce qui a entraîné une hausse de la puissance de sortie du téléphone. Dans le scénario non-utilisateur, les bandes de fréquence de liaison descendante étaient dominantes. Dans le scénario maximal de liaison descendante, la nouvelle bande TDD (duplexage temporel) de la 5G de 3,5 GHz a été la principale contribution à l'exposition au CEM-HF, en particulier dans les villes disposant d'un réseau 5G bien développé. L'utilisation ciblée (« liaison descendante auto-induite ») y a engendré une formation de faisceaux dynamique. Dans le scénario maximal de liaison montante, la bande de liaison montante de 2,1 GHz et la bande TDD de la 5G de 3,5 GHz ont nettement contribué à l'exposition, la part de la 5G ayant été bien plus faible dans les zones rurales en raison du plus grand éloignement des services 5G. Les chercheurs notent que, dans la technologie TDD, la liaison montante (depuis le téléphone) et la liaison descendante (depuis la station de base) ne peuvent pas être saisies séparément, ce qui fait que leur contribution respective à l'exposition globale ne peut pas être déterminée.

3) Autres publications pour information

Monitoring du RNI en Suisse

Le consortium de projet SwissNIS a publié son quatrième rapport annuel (en allemand). Ce rapport décrit les mesures réalisées en 2024 dans le cadre du monitoring de l'exposition au RNI en Suisse.²

Groupe de recherche européen sur les champs électromagnétiques et la santé : note de synthèse

Le groupe de recherche européen sur les champs électromagnétiques et la santé (CLUE-H) a publié une note de synthèse sur l'utilisation de différentes mesures d'exposition dans la recherche sur les effets des champs électromagnétiques sur la santé, expliquant « pourquoi différentes mesures d'exposition sont utilisées, ce que ces grandeurs signifient et en quoi ces différentes mesures contribuent à atteindre les objectifs politiques et de recherche correspondants ».³

Déclaration de l'ICNIRP concernant les lacunes de connaissance

La Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) a publié une déclaration décrivant les lacunes de connaissance relatives aux « Lignes directrices de l'ICNIRP pour limiter l'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques variant dans le temps (100 kHz à 300 GHz) ».⁴

² SwissNIS (2025): Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung: Jahresbericht 2024 - Projektkonsortium SwissNIS. 18. Juli 2025. Bundesamt für Umwelt (BAFU).

[https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/externe-studien-berichte/expositionsmessungen-nichtionisierende-strahlung-jahresbericht-2024-projektkonsortium-swissnis.pdf.download.pdf/Jahresbericht_2024_-_NIS-Expositionsmessungen_\(DE\).pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/externe-studien-berichte/expositionsmessungen-nichtionisierende-strahlung-jahresbericht-2024-projektkonsortium-swissnis.pdf.download.pdf/Jahresbericht_2024_-_NIS-Expositionsmessungen_(DE).pdf)

³ https://www.emf-health-cluster.eu/wp-content/uploads/2024/06/CLUE-H_First_Policy_Brief_DEF_approved.pdf

⁴ <https://doi.org/10.1097/hp.0000000000001944>

Bibliographie

Loizeau N, Haas D, Zahner M, Stephan C, Schindler J, Gugler M, Fröhlich J, Ziegler T, Rösli M. **Extremely low frequency magnetic fields (ELF-MF) in Switzerland: From exposure monitoring to daily exposure scenarios.** Environ Int. 2024 Dec;194:109181. Epub 2024 Dec 4.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109181>

Sun C, Wang S, Zhang J, Zhou X, Zhu T, Mao G. **Fifty-hertz magnetic fields induce DNA damage through activating mPTP associated mitochondrial permeability transition in senescent human fetal lung fibroblasts.** Biophys Chem. 2025 Mar;318:107367. Epub 2024 Dec 3.
<https://doi.org/10.1016/j.bpc.2024.107367>

Veludo AF, Stroobandt B, Van Bladel H, Sandoval-Diez N, Guxens M, Joseph W, Rösli M. **Exploring RF-EMF levels in Swiss microenvironments: An evaluation of environmental and auto-induced downlink and uplink exposure in the era of 5G.** Environ Res. 2025 Feb 1;266:120550.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120550>

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 8111
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](#)