

Résumé et évaluation des études sélectionnées

De mi-octobre 2021 à mi-janvier 2022, 123 nouvelles publications ont été identifiées, dont huit 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

Effet combiné de facteurs environnementaux : CEM-HF, acclimatation à la chaleur et effets sur l'anxiété et la dépression à la lumière de l'axe cerveau-intestin (Luo et al. 2021)

La flore intestinale exerce une influence sur l'homéostasie énergétique, le métabolisme, l'équilibre glycémique ou encore la réponse immunitaire. Elle joue toutefois un rôle encore plus crucial dans la préservation des fonctions physiologiques du cerveau. Elle influe sur le comportement, le développement cérébral, le vieillissement ainsi que l'apparition ou le développement de maladies neurodégénératives. Toute altération de la flore intestinale peut donc entraîner à son tour une altération de la microglie, autrement dit du système de défense du cerveau.

Dans le cadre de l'étude sous-chronique *in vivo* de Luo *et al.* (2021), des souris mâles issues de la souche C57BL/6J ont été réparties en quatre groupes, avec et sans acclimatation à la chaleur (35 °C ou 28 °C) pendant les 28 premiers jours, suivis de 5 semaines d'exposition à un CEM-HF ou à une exposition fictive. L'expérience a porté sur l'interaction entre l'axe cerveau-intestin chez des souris soumises à l'influence de CEM-HF (2450 Mhz, 2 µs/impulsion, 500 impulsions/seconde, 4 heures/jour, TAS pour le corps entier de 2,5 W/kg) et l'acclimatation à la chaleur (35 °C au lieu de 28 °C). Des tests de comportement ont permis d'analyser des effets comme l'anxiété et la dépression. La flore intestinale a en outre été déterminée par séquençage, de même que des paramètres sériques comme le tryptophane et la phénylalanine, ainsi que le cholestérol et le fructose, lesquels avaient été mis en corrélation avec la dépression dans le cadre d'autres études.

Les tests de comportement n'ont révélé aucune influence sur le comportement anxieux aux deux instants de mesure, tandis que les sujets montraient davantage de signes de dépression après cinq semaines d'exposition au CEM-HF. Les activités génétiques de plusieurs bactéries ont par ailleurs varié, ce qui n'était pas le cas avec une acclimatation simultanée à la chaleur. L'amélioration de certains des paramètres sériques précités a également été constatée sous l'effet de l'acclimatation à la chaleur. Il est ressorti de l'analyse des voies de signalisation une interaction entre le métabolisme du tryptophane et la pyrimidine, ainsi qu'avec la synthèse organique des acides aminés. Les auteurs en déduisent que l'exposition au CEM-HF décrite précédemment entraîne des troubles neurologiques du comportement comparables à la dépression, troubles pouvant provenir d'un déséquilibre de la flore intestinale. Cette dernière joue en outre un rôle dans les effets de l'acclimatation à la chaleur.

Un lien de causalité ne saurait être établi avec certitude sur la seule base des présents résultats malgré la détection de signes suggérant l'implication de l'axe cerveau-intestin dans la survenance accrue de symptômes dépressifs en lien avec la modification de la flore intestinale (qui ont pu être écartés au travers de l'acclimatation à la chaleur). Des essais supplémentaires sont nécessaires pour y parvenir. Comme le soulignent les auteurs, il s'agirait de déterminer les paramètres de mesure à plusieurs instants, mais surtout de procéder à l'inhibition des bactéries pertinentes à l'aide d'antibiotiques, et/ou à la transplantation fécale de cette flore intestinale.

2) Études épidémiologiques

Risque de tumeur cérébrale chez les personnes âgées de 10 à 24 ans et utilisation de téléphones mobiles et sans fil (Castaño-Vinyals et al. 2022)

Dans le cadre d'une étude cas-témoins (« MOBI-Kids ») de grande envergure, il a été examiné à l'aide de données issues de 14 pays¹ si l'utilisation de téléphones mobiles et sans fil ainsi que l'exposition aux CEM-HF et aux CEM-BF qui en découle pouvaient accroître le risque de développement de tumeurs cérébrales chez les jeunes (Castaño-Vinyals *et al.* 2022). Le groupe des participants était formé de 899 personnes âgées de 10 à 24 ans ayant reçu un diagnostic de tumeur cérébrale entre 2010 et 2015. L'étude comportait également 1910 cas-témoins du même âge, issus de la même région et ayant subi une appendicectomie au cours de la même période. Des données quant à l'utilisation de téléphones mobiles et sans fil ainsi que d'autres informations pertinentes ont été collectées auprès des sujets et/ou de leurs parents de manière rétroactive à l'occasion d'entretiens réalisés à partir d'un questionnaire. Un calcul de la dose de CEM a également été effectué. Les données ont été analysées pour trois tranches d'âge distinctes (de 10 à 14 ans, de 15 à 19 ans et de 20 à 24 ans) afin de tenir compte de l'utilisation en matière de téléphonie mobile propre à chaque tranche.

D'après les principales analyses, une utilisation accrue de téléphones mobiles et sans fil était corrélée à une baisse du risque de développement de tumeurs cérébrales, notamment pour la tranche d'âge des 15-19 ans. Bien que l'analyse ait été effectuée sur la base de la dose cumulée de CEM-HF et CEM-BF à l'emplacement de la tumeur plutôt que sur la base de l'utilisation, il en a également découlé des risques plus faibles dans le cas d'un degré d'exposition plus élevé. Des analyses plus poussées indiquent toutefois qu'aucun lien de causalité ne peut être établi avec cet effet « protecteur ». Cet effet n'était plus observé au travers des données statistiques lorsque les données d'utilisation relatives aux cinq ans précédant le diagnostic n'ont pas été prises en compte et que seules les données fournies par les participants à l'étude, et non celles de leurs parents, étaient retenues. En outre, aucun lien de cause à effet n'a pu être établi entre l'apparition de tumeurs cérébrales et l'utilisation de téléphones mobiles et sans fil.

Les auteurs en déduisent que l'étude ne peut constituer un quelconque indice permettant de conclure à un lien de cause à effet entre l'utilisation de ces appareils et l'apparition de tumeurs cérébrales au sein de la tranche d'âge étudiée, bien que l'existence d'un risque, même moindre, ne puisse entièrement être écartée. L'observation d'un effet en apparence « protecteur » tiendrait d'une part à l'imprécision des données fournies par les parents, et d'autre part au fait que les symptômes avaient conduit à une utilisation moindre de téléphones mobiles et sans fil préalablement au diagnostic, et non l'inverse (causalité inversée).

L'étude MOBI-Kids, financée par des fonds publics des pays participants et de l'Union européenne, constitue à ce jour la plus vaste étude menée sur le sujet pour cette tranche d'âge. Cette publication présente d'autres points forts comme les nombreuses analyses de sensibilité ou encore l'inclusion de rayonnements à haute comme à basse fréquence. Les études cas-témoins reposent sur des informations recueillies de manière rétroactive à l'exposition ; ces informations ne sont pas exemptes d'incertitudes. Dans le cas présent, les parents des participants âgés de 15 à 19 ans en bonne santé semblent notamment surestimer l'utilisation de la téléphonie mobile contrairement aux parents d'enfants malades, ce qui a entraîné ce fameux effet « protecteur » paradoxal. Au vu de leur méthodologie lacunaire, les études cas-témoins ne sauraient démontrer avec certitude l'existence de faibles risques. Au sein de la tranche d'âge observée, des risques notables de développement de

¹Allemagne, Australie, Autriche, Canada, Corée, Espagne, France, Grèce, Inde, Israël, Italie, Japon, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas

tumeurs cérébrales en lien avec l'utilisation du téléphone portable devraient toutefois pouvoir être identifiés dans l'intervalle grâce à un nombre de cas plus élevé dans les données des registres du cancer. Toutefois, d'une manière générale, aucune augmentation notable du développement de tumeurs cérébrales n'a été constatée au sein de cette tranche d'âge depuis l'apparition des téléphones mobiles. Dans l'ensemble, l'étude appuie les résultats d'autres études épidémiologiques ainsi que d'analyses de séries chronologiques des registres du cancer, lesdits résultats indiquant que le rayonnement des téléphones mobiles n'entraîne pour l'heure aucun accroissement notable du risque de développement de tumeurs cérébrales.

3) Études humaines expérimentales

Activité cérébrale au repos et exposition aux ondes GSM (Wallace et al. 2021a, b)

La plupart des études réalisées à ce jour sur l'exposition aux CEM-HF et sur l'activité cérébrale ont mis en lumière une activité alpha spontanée modifiée. Tant des augmentations que des baisses de cette activité ont été constatées. L'hétérogénéité des résultats est renforcée en partie par le fait que certaines études n'ont noté aucun effet particulier. Les facteurs pouvant être à l'origine de cette hétérogénéité sont nombreux. Il peut notamment s'agir de différences sur le plan méthodologique, au niveau des protocoles d'essai, des fréquences et intensités appliquées, ou encore du groupe observé.

Wallace *et al.* (2021a, b) ont porté leur attention sur 32 jeunes participants en bonne santé (tous droitiers, 17 femmes). Les participants ont été exposés à un CEM-HF (GSM, 900 MHz, modulation de 217 Hz, TAS max. 0,49 W/kg [moyenne sur 10 g de tissu]) ou à une exposition fictive pendant 25,5 minutes. Un téléphone mobile a été placé au niveau de leur oreille gauche (étude randomisée, en double aveugle, en plan croisé compensé). Le protocole de mesure consistait en trois phases : phase de référence, phase d'exposition et phase de post-exposition. L'électroencéphalogramme (EEG) et l'électrocardiogramme (ECG) ont été mesurés tout au long des trois phases. Au cours de celles de référence et de post-exposition, un magnétoencéphalogramme (MEG) a également été enregistré. L'EEG a enregistré l'activité électrique du cerveau, tandis que le MEG a surveillé l'activité magnétique. Quatre échantillons salivaires ont en outre été collectés (au début, pendant et après l'exposition, puis à la fin) afin de réaliser des tests quant à d'éventuels effets sur le niveau de stress.

Le MEG ainsi que les facteurs de stress ont été analysés dans une première publication (32 participants observés ; Wallace *et al.* 2021a). Le MEG a servi à étudier l'effet de l'exposition sur l'activité alpha (8-12 Hz) après l'exposition. Les résultats relevés au niveau des capteurs et des sources localisées (estimation de l'origine de l'activité dans le cortex cérébral) ont montré une diminution notable de l'activité MEG alpha après l'exposition aux ondes GSM, ainsi que différentes régions corticales impliquées (yeux du sujet ouverts ou fermés), phénomène probablement dû à l'écart entre le niveau d'attention dans l'un et l'autre cas. Les mesures de la fréquence cardiaque, de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC), des biomarqueurs du stress ainsi que l'analyse du taux de caféine n'ont révélé aucun changement : autrement dit, les résultats n'ont guère été influencés par des facteurs perturbateurs comme la réaction à une source de stress ou la consommation de caféine en amont de l'expérience.

L'accent a été mis sur l'EEG avec l'analyse des données EEG (activité alpha) de la phase de référence et de la phase d'exposition dans une deuxième publication (21 participants, dont 10 femmes, Wallace *et al.* 2021b). L'activité alpha au repos (yeux ouverts ou fermés) n'a pas été modifiée pendant l'exposition aux ondes GSM par rapport à la valeur de contrôle.

Ces deux travaux de Wallace *et al.* ont montré aussi bien une diminution de l'effet que l'absence d'effet. Il convient toutefois de noter que la diminution de l'activité enregistrée au cours de la MEG s'est produite après l'exposition, et qu'aucun effet n'a été constaté au niveau de l'EEG pendant l'exposition. La raison pour laquelle l'EEG n'a pas été aussi analysé après l'exposition n'est pas claire.

4) Autres publications pour de plus amples informations : revues de littérature

Revue pour le compte de l'OMS

Une série de revues systématiques concernant les effets sur la santé de l'exposition aux CEM-HF est menée actuellement pour le compte de l'OMS. Alors que les revues en question sont encore en cours d'élaboration, la plupart des protocoles correspondants ont été publiés dans l'intervalle (état août 2022 : 10 protocoles publiés sur 11)².

Prise de position de la commission allemande de protection contre les rayonnements (Strahlenschutzkommission, SSK)

La commission allemande de protection contre les rayonnements a publié une prise de position. Cette dernière se réfère aux champs électromagnétiques de la téléphonie mobile dans le cadre de l'extension actuelle du réseau 5G, en particulier sur les aspects techniques et les effets biologiques dans la gamme de fréquences pouvant atteindre jusqu'à 7 GHz³.

Bibliographie

Castaño-Vinyals G., Sadetzki S., Vermeulen R., Momoli F., Kundi M., Merletti F., Maslanyj M., Calderon C., Wiart J., Lee AK., Taki M., Sim M., Armstrong B., Benke G., Schattner R., Hutter HP., Krewski D., Mohipp C., Ritvo P., Spinelli J., Lacour B., Remen T., Radon K., Weinmann T., Petridou ET., Moschovi M., Pourtsidis A., Oikonomou K., Kanavidis P., Bouka E., Dikshit R., Nagrani R., Chetrit A., Bruchim R., Maule M., Migliore E., Filippini G., Miligi L., Mattioli S., Kojimahara N., Yamaguchi N., Ha M., Choi K., Kromhout H., Goedhart G., 't Mannelje A., Eng A., Langer CE., Alguacil J., Aragonés N., Morales-Suárez-Varela M., Badia F., Albert A., Carretero G., Cardis E. (2021) : ***Wireless phone use in childhood and adolescence and neuroepithelial brain tumours: Results from the international MOBI-Kids study.*** Environ Int. 2021 Déc. 30;160:107069.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34974237/>

Luo X, Huang X, Luo Z, Wang Z, He G, Tan Y, Zhang B, Zhou H, Li P, Shen T, Yu X, Yang X (2021): ***Electromagnetic field exposure-induced depression features could be alleviated by heat acclimation based on remodeling the gut microbiota.*** Ecotoxicol Environ Saf. 2021 Nov 15;228:112980.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34794024/>

² <https://www.sciencedirect.com/journal/environment-international/special-issue/109J1SL7CXT>

³ SSK (2021) : **Champs électromagnétiques de la téléphonie mobile dans le cadre de l'extension actuelle 5G – Aspects techniques et effets biologiques dans la gamme de fréquences inférieure (FR1, jusqu'à 7 GHz env.).** Prise de position de la commission allemande de protection contre les rayonnements (SSK). Approuvée lors de la 317^e réunion de la SSK en date du 9 et 10 décembre 2021.

https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2021/2021-12-10_Stgn_5G_Mobilfunk.html

Wallace J, Yahia-Cherif L, Gitton C, Hugueville L, Lemaréchal JD, Selmaoui B (2021a): ***Modulation of magnetoencephalography alpha band activity by radiofrequency electromagnetic field depicted in sensor and source space.*** Sci Rep. 2021 Dec 3;11(1):23403.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34862418/>

Wallace J, Yahia-Cherif L, Gitton C, Hugueville L, Lemaréchal JD, Selmaoui B (2021b): ***Human resting-state EEG and radiofrequency GSM mobile phone exposure: the impact of the individual alpha frequency.*** Int J Radiat Biol. 2021 Dec 6:1-10. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34797205/>

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 :

[Groupe consultatif d'experts en matière de rayonnement non ionisant \(BERENIS\)](#)

[Liste des abréviations \(fichier PDF\)](#)