

Résumé et évaluation des études sélectionnées

De début février à fin avril 2021, 88 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

Champs électromagnétiques de 20 kHz et leur influence sur l'apparition de cancers, la performance mémorielle, la coordination/l'équilibre et le comportement anxieux de souris femelles (Lerchl et al. 2021)

L'étude de Lerchl *et al.* (2021) analyse les effets de l'exposition chronique à des champs électromagnétiques (CEM) de 20 kHz et 360 μ T sur le comportement des souris ainsi qu'au regard de la carcinogenèse (développement de cellules cancéreuses). Les plaques de cuisson à induction ou la recharge sans fil des véhicules électriques, par exemple, génèrent des CEM de ce type. Pour cette plage de fréquence, il n'existe toutefois qu'un nombre relativement restreint d'études publiées.

Durant 13 mois au total, des souris femelles âgées d'au moins trois mois ont été placées dans des cages accueillant chacune 5-6 individus et soumises à une exposition réelle ou fictive (80 individus par groupe ; 24 heures par jour, 7 jours par semaine ; champ magnétique homogène ; fréquence de 20 kHz ; intensité de 360 μ T). À ce niveau d'intensité, les courants physiologiques générés chez la souris sont comparables à ceux induits sur le corps humain à la valeur limite réglementaire d'exposition de la population (27 μ T). Au bout de 10 mois d'exposition, des tests de comportement ont été effectués afin d'analyser la performance mémorielle et les facultés de coordination/équilibre des souris ainsi que leur niveau d'anxiété. À l'issue des 13 mois, une analyse histologique de routine des tissus du cerveau, du foie, des reins, de la rate et des poumons des souris a été effectuée en vue d'observer la formation éventuelle de tumeurs et la nature de celles-ci.

Les résultats n'ont révélé aucune différence entre les souris exposées et celles du groupe contrôle en matière de prise de poids et de longévité. Aucune différence n'a par ailleurs été notée lors des tests de comportement visant à analyser la performance mémorielle. En revanche, une modification de l'équilibre et des facultés de coordination des souris exposées aux CEM, lesquelles se maintenaient plus longtemps sur la tige horizontale en rotation (test de performance Rotarod), a été observée. Les auteurs imputent ces changements à une augmentation du stress donnant lieu à une vigilance accrue.

Bien que l'incidence tumorale n'ait pas été modifiée de manière significative, un nombre tendanciellement plus élevé de tumeurs et d'hyperplasies a été observé chez les souris exposées aux CEM (11 dans le groupe contrôle contre 17 dans le groupe exposé). Chez les individus exposés, les types suivants de tumeurs ou lésions précancéreuses étaient plus fréquents : lymphomes malins, méningiomes, carcinomes broncho-pulmonaires, hémangiosarcomes et carcinomes du tubule rénal ; tandis dans le groupe contrôle, les adénomes broncho-pulmonaires et des hyperplasies de la pulpe splénique ont été plus fréquents. Seul résultat frappant relevé chez les animaux exposés aux CEM : l'incidence tumorale accrue pour les lymphomes malins (8 %, contre 2,5 % dans le groupe contrôle). Il conviendrait ici de procéder à des études complémentaires. Compte tenu de la très faible incidence tumorale (0-2 %) constatée pour de nombreux autres types de tumeurs, l'augmentation non significative relevée pour chaque type est difficile à évaluer. Il serait judicieux d'effectuer ici des

contrôles historiques, afin d'obtenir des données de comparaison issues du même laboratoire sur une période de quelques années. Par ailleurs, un seul échantillon tissulaire a été prélevé sur chaque organe, alors que la procédure standard en prévoit deux.

Neurogenèse et facultés de perception amoindries chez des souris exposées sur une longue durée à un champ hypomagnétique (Zhang et al. 2021)

L'étude de Zhang *et al.* (2021) ne s'intéresse pas aux CEM générés par les technologies, mais à l'influence que le champ magnétique terrestre (dit géomagnétique) exerce sur les fonctions biologiques. Il est reconnu que certaines espèces animales l'utilisent pour s'orienter. Plusieurs études révèlent que l'exposition à un environnement hypomagnétique – soit à une absence de champ magnétique similaire à celle notamment rencontrée lors de la navigation spatiale – a des effets négatifs sur le système nerveux central. Toutefois, la question de savoir si le champ géomagnétique exerce une influence générale sur tous les organismes vivants ou s'il joue un rôle dans les processus cellulaires fondamentaux demeure largement inexplorée. L'étude de Zhang *et al.* entend observer ces corrélations éventuelles à l'exemple de la formation de neurones (neurogenèse) en l'absence de champ électromagnétique. La neurogenèse est étroitement liée à la performance d'apprentissage et de mémorisation, laquelle peut être amoindrie par le stress et divers facteurs environnementaux. Il est donc concevable que ce même lien évolutif de dépendance puisse être observé en cas de forte réduction d'un champ électromagnétique, ce qui viendrait corroborer le fait que les CEM ont des impacts fonctionnels.

D'importantes altérations de la neurogenèse ont été constatées chez des souris mâles (souche consanguine C57BL/6 également connue sous la désignation « Black 6 ») au bout de deux semaines d'exposition à un champ hypomagnétique statique (autrement dit en l'absence de champ magnétique terrestre), altérations qui se sont traduites par une inhibition de la prolifération des cellules souches neuronales. Le champ hypomagnétique statique présentait une densité de flux 190 fois plus faible (env. 0,29 μ T) que celle du champ géomagnétique local (env. 55 μ T). Suite à une exposition de quelques semaines à un environnement hypomagnétique, les neurones de la zone cérébrale de l'hippocampe (*gyrus dentatus*) des nouveau-nés étaient moins différenciés. L'analyse du transcriptome a mis en lumière que cette inhibition de la différenciation s'accompagnait d'une régulation positive des gènes en lien avec les processus métaboliques et la prolifération des cellules. Parallèlement, il a été constaté que le comportement d'apprentissage des animaux soumis à un environnement hypomagnétique était sensiblement réduit.

Ces observations ont également été mises en corrélation avec une diminution de la teneur en superoxydes, une forme d'espèces réactives de l'oxygène (ERO). L'inhibition de la neurogenèse, la réduction de la différenciation des cellules souches neuronales et les modifications du comportement d'apprentissage ont pu être stoppées grâce à un traitement pharmacologique inhibant la dégradation des superoxydes. Les auteurs déduisent des données recueillies que le champ électromagnétique terrestre joue un rôle important pour la neurogenèse dans la zone cérébrale de l'hippocampe ainsi que pour les processus d'apprentissage dépendants de l'hippocampe chez les adultes. Ceux-ci peuvent être préservés en assurant le maintien du taux de superoxydes, qui se voit réduit par l'exposition à un champ hypomagnétique. Dans ce cas, les ERO/superoxydes font office de molécules signal et de régulateurs du développement neuronal et ne génèrent pas d'effets toxiques sur les cellules. Le mécanisme à l'œuvre dans les phénomènes observés devra encore faire l'objet de recherches approfondies, mais il est fort possible qu'il soit également influencé par d'autres CM-BF et CEM-HF.

Influence des champs électromagnétiques haute fréquence sur les cellules cutanées (Kim et al. 2021)

La peau, qui fait fonction de barrière physique contre les influences extérieures, est la partie du corps la plus exposée aux champs électromagnétiques et autres facteurs environnementaux. Partant de cette constatation, Kim *et al.* (2021) ont observé les effets d'un CEM-HF avec modulation LTE (1,76 GHz, valeur TAS : 4 W/kg, 2 heures/jour, pendant 4 jours) sur les cellules cutanées humaines (kératinocytes HaCaT) dans le cadre d'une étude *in vitro* ; le rayonnement UV-A a été intégré à l'analyse en tant que contrôle positif. Les auteurs ont relevé une augmentation de la production d'ERO. Celle-ci était néanmoins moins importante qu'après une exposition au rayonnement UV-A. L'accroissement du niveau d'ERO à l'issue de l'exposition LTE n'a toutefois pas eu d'effet sur la morphologie, la vitalité et la multiplication des cellules ni entraîné de modifications des marqueurs apoptotiques révélant un effet toxique. L'expression et l'activité des « métalloprotéases matricielles » (MMP) ont en outre été analysées. Les protéines de cette famille d'enzymes provoquent la dégradation du collagène (collagénases) et de la gélatine (gélatinases) dans la matrice extracellulaire et comptent parmi les facteurs responsables du vieillissement cutané. Il a été relevé que l'exposition aux CEM-HF augmentait le nombre de collagénases MMP1, -3, et -7 et l'activité des gélatinases MMP2 et -9, de manière moins importante cependant que sous l'action d'un rayonnement UV-A. L'analyse du facteur de transcription FoxO3 a également permis de révéler une influence des CEM-HF sur le processus de vieillissement cellulaire (sénescence). Les auteurs ont en outre observé l'activation des cascades de signalisation MAPK et une présence accrue de protéines Erk1/2 sous leur forme active phosphorylée, tandis que le marqueur d'inflammation Cox2 demeurait inchangé.

Les auteurs déduisent des résultats obtenus que l'exposition à un CEM-HF, par exemple à un signal LTE, peut potentiellement accélérer le processus de vieillissement cutané par la production d'ERO, de manière semblable au mécanisme bien connu induit par un rayonnement à haute énergie (p. ex. UV-A). Le même groupe de recherche avait déjà rapporté que l'exposition aux CEM-HF exerçait des effets comparables sur les processus de vieillissement d'autres types de cellules (cf. Choi *et al.* 2020, [Newsletter 24](#)). Les données actuellement disponibles en la matière sont néanmoins encore peu étoffées et d'autres analyses seront nécessaires pour confirmer ces conclusions. Il serait intéressant d'observer à ce titre les effets générés par les deux facteurs environnementaux dans le cadre d'une exposition simultanée ou séquentielle.

2) Études dosimétriques

Exposition à un réseau commercial 5G à Berne (Aerts et al. 2021)

Dans le cadre d'une première campagne de mesure *in situ*, il a été procédé à une évaluation de l'exposition aux antennes de téléphonie mobile de la cinquième génération (« New Radio [NR] massive multiple-input-multiple-output [MaMIMO] ») sur un réseau commercial mobile 5G de Swisscom à Berne. Des relevés ont ainsi été effectués au niveau de 22 positions situées en visibilité directe et éloignées de 30 à 410 m des antennes d'un réseau 5G NR constitué de 4 stations de téléphonie mobile. Parmi les positions de mesure, 20 étaient situées à 1,5 m du sol et 2 sur des toitures à une hauteur de 20,5 m. Les intensités de champ ont été évaluées pour deux types de scénarios. Le premier englobait les intensités de champ correspondant à l'exploitation du réseau actuelle. Le second intégrait en plus la sollicitation supplémentaire induite par une liaison provoquée de manière expérimentale entre l'antenne NR et un terminal mobile, en condition de charge maximale théorique des canaux de trafic. Pour cette expérience, le téléphone mobile était placé dans le prolongement de la ligne de visibilité directe de l'antenne. Les antennes NR des quatre stations de base faisant l'objet de l'étude sont

exploitées dans la bande n78 (3,3 – 3,8 GHz) avec une puissance d'entrée comprise entre 1,5 et 8 watts et recourent à un « beamforming » basé sur un « codebook », autrement dit à une répartition spatiale prédéfinie des faisceaux des antennes adaptatives. Au moment de la campagne de mesure, la puissance autorisée pour celles-ci dans une direction donnée était limitée en Suisse et ne pouvait dépasser un dixième du seuil d'immission autorisé par LUS¹. Sans données de trafic activement provoquées, les émissions des antennes NR exploitées avec une puissance d'entrée de 1,6 à 8 W présentaient des intensités de champ inférieures à 0,05 V/m au niveau des points de mesure sélectionnés. Avec la sollicitation supplémentaire des canaux de trafic provoquée de manière expérimentale, les intensités de champ maximales relevées aux points de mesures sélectionnés atteignaient 0,6 V/m. Ces valeurs maximales correspondent à la plus haute valeur mesurée dans un « élément ressource » au sein d'un paquet de transmission de 20 ms. Si l'on rapporte les valeurs relevées à la puissance d'entrée maximale de 200 W autorisée par le fabricant au niveau de l'antenne, on aboutit à des puissances de champ maximales de 4,9 V/m aux points de mesures sélectionnés. Cela correspond approximativement à la valeur limite de l'installation en vigueur en Suisse et à une utilisation de l'ordre de 0,5 à 0,6 % du potentiel admis par les valeurs limites de l'ICNIRP au regard de la densité de puissance (10 W/m² à 3,5 GHz). Au moment où les mesures ont été effectuées à Berne, l'exposition liée aux antennes NR contribuait en moyenne à hauteur de 2 % à l'ensemble des immissions des champs électromagnétiques.

Les auteurs déduisent de cette première campagne de mesures in situ sur un réseau commercial, laquelle visait à analyser les intensités de champ, actuelles et extrapolées, des antennes 5G NR, que les CEM des nouvelles antennes ne constituent qu'une faible part des immissions CEM existantes. Y compris lorsque le canal de trafic était occupé à 100 %, les données relevées étaient largement en deçà des valeurs limites internationales.

Il convient de souligner que la pertinence de ce type de mesures reste limitée dans le temps et dans l'espace. D'autres campagnes de mesures détaillées seront nécessaires pour confirmer ces premières conclusions, en particulier lorsque la technologie 5G sera plus largement déployée en Suisse. L'étude dont il est question ici a bénéficié du soutien du Mobile & Wireless Forum (association internationale représentant les fabricants d'appareils mobiles et sans fil).

4) Autres publications pour de plus amples informations

Rapports d'expertise sur les CEM et la santé

En France, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a publié en mars 2021 un rapport d'expertise intitulé « Expositions aux champs électromagnétiques liées au déploiement de la technologie de communication < 5G > et effets sanitaires éventuels associés » (en français uniquement).²

¹ LUS = « Lieux à utilisation sensible ». Pour plus d'informations, consulter : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/electrosmog/info-specialistes/mesures-contre-l-electrosmog/lieux-a-utilisation-sensible--lus-.html>.

² ANSES (2021) : **Expositions aux champs électromagnétiques liées au déploiement de la technologie de communication « 5G » et effets sanitaires éventuels associés**. (saisine 2019-SA-0006). Maisons-Alfort : ANSES, 241 p. https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2019SA0006_Rapport_5G_consultation.pdf

En avril 2021 est en outre paru le 15^e rapport du conseil scientifique de l'Autorité suédoise de protection contre les radiations traitant des travaux de recherche actuels sur les CEM³.

Bibliographie

Aerts S, Deprez K, Colombi D, Van den Bossche M, Verloock L, Martens L, Törnevik C, Joseph W (2021) : **In Situ Assessment of 5G NR Massive MIMO Base Station Exposure in a Commercial Network in Bern, Switzerland**. Appl Sci. 2021; 11(8):3592. <https://doi.org/10.3390/app11083592>

Kim JH, Kang DJ, Bae JS, Lee JH, Jeon S, Choi HD, Kim N, Kim HG, Kim HR (2021) : **Activation of matrix metalloproteinases and FoxO3a in HaCaT keratinocytes by radiofrequency electromagnetic field exposure**. Sci Rep. 2021 Apr 7;11(1):7680. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33828192/>

Lerchl A, Drees Née Grote K, Gronau I, Fischer D, Bauch J, Hoppe A (2021) : **Effects of Long-Term Exposure of Intermediate Frequency Magnetic Fields (20 kHz, 360 µT) on the Development, Pathological Findings, and Behavior of Female Mice**. Bioelectromagnetics. 2021 May;42(4):309-316. Epub 2021 Apr 6. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33822410/>

Zhang B, Wang L, Zhan A, Wang M, Tian L, Guo W, Pan Y (2021) : **Long-term exposure to a hypomagnetic field attenuates adult hippocampal neurogenesis and cognition**. Nat Commun. 2021 Feb 19;12(1):1174. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33608552/>

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

³ SSM (2021) : **Recent Research on EMF and Health Risk. Fifteenth report from Swedish Radiation Safety Authority's (SSM) Scientific Council on Electromagnetic Fields**. Avril 2021. <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/2021-08>

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

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

[La liste des abréviations \(PDF\)](#)