

Résumé et évaluation des études sélectionnées

De mi-janvier à fin avril 2020, 91 nouvelles publications ont été identifiées et douze d'entre elles ont été discutées de manière approfondie par le groupe d'experts BERENIS. Parmi ces douze publications, six, considérées comme particulièrement significatives, ont été sélectionnées aux fins de l'évaluation ; elles sont résumées ci-après.

1) Études animales et études cellulaires expérimentales

Champs électromagnétiques de haute fréquence (CEM-HF) modulés et leur influence sur le génome (Schuermann et al. 2020)

Les travaux de Schuermann *et al.* (2020) consistent à investiguer de façon systématique l'influence des signaux CEM-HF modulés, utilisés dans les systèmes de communication sans fil, sur les lésions et les réparations de l'ADN (étude *in vitro*). Des fibroblastes pulmonaires humains primaires, principalement, et une lignée cellulaire de trophoblastes ont été utilisés ; ils ont été exposés à intervalles alternés (5/10 min on/off) à différentes modulations d'une fréquence porteuse de 1,95 GHz (GSM/2G, UMTS/3G, Wi-Fi, RFID/« radio- étiquette »), le taux d'absorption spécifique (TAS) se situant à 0,5, 2 et 4,9 W/kg. Les lésions de l'ADN ont été analysées au moyen du test des comètes après 1, 4 et 24 heures d'exposition, sans qu'une augmentation significative ait été observée dans ces conditions. Les expériences clés ont été réalisées indépendamment dans deux groupes de recherche afin d'éviter d'éventuelles influences de second plan. Au cours de ces investigations, les résultats positifs de l'étude REFLEX¹ ainsi que ceux d'une autre étude² (lésions causées à l'ADN par les signaux GSM), qui ont été l'élément déclencheur et le point de départ de l'étude dont il est question ici, n'ont pas pu être confirmés ou répétés de manière concluante. Afin de réduire le seuil de détection du test des comètes, des approches expérimentales permettant de détecter les lésions oxydatives et d'autres types de lésions non réparées de l'ADN ont également été appliquées.

Étant donné que les lésions du matériel génétique peuvent également résulter d'effets exercés par les CEM-HF sur les mécanismes de réparation et de réplication de l'ADN, ceux-ci ont également été examinés de manière sélective. Aucune différences significatives et reproductibles n'ont toutefois été observées. Ce n'est que lorsque les fibroblastes ont été exposés simultanément durant une heure à un signal UMTS (TAS 4,9 W/kg) et au méthanesulfonate d'éthyle (EMS), une substance dont l'effet délétère sur l'ADN et donc la cancérogénicité sont connus, que l'on a constaté des lésions significativement plus importantes de l'ADN comme résultat de la combinaison des deux facteurs. Toutefois, cet effet ne pouvait pas être détecté dans le cas d'une exposition préalable aux CEM-HF et plus longue que le traitement à l'EMS. Cette constatation indique que les cellules ont une capacité d'adaptation relativement grande et que des mesures de protection sont mises en action (réponse adaptative). Un grand nombre de conditions d'exposition ayant été testées sans qu'une preuve d'effets

¹ Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O, Rüdiger H (2005): **Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro.** Mutat Res. 2005 Jun 6;583(2):178-83. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15869902/>

² Franzellitti S, Valbonesi P, Ciancaglini N, Biondi C, Contin A, Bersani F, Fabbri E (2010): **Transient DNA damage induced by high-frequency electromagnetic fields (GSM 1.8 GHz) in the human trophoblast HTR-8/SVneo cell line evaluated with the alkaline comet assay.** Mutat Res. 2010 Jan 5;683(1-2):35-42. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19822160/>

apparaissant au-delà des seuils de détection des approches expérimentales ait été trouvée, les auteurs tirent de leurs données qu'il est peu probable que les signaux CEM-HF provoquent des lésions directes ou indirectes au matériel génétique. Cependant, des facteurs de stress supplémentaires et non identifiés pourraient, dans certaines conditions expérimentales, conduire au développement ou à l'amplification d'indications d'effets sur le génome.

Exposition à long terme à des CEM-HF chez les rats et effets sur le stress oxydatif, les lésions de l'ADN dans le cerveau et les capacités mnésiques (Sharma et al. 2020)

Cette étude *in vivo* a porté sur les effets des CEM-HF sur le stress oxydatif, les lésions de l'ADN dans le cerveau et les performances de la mémoire chez les rats. Des rats mâles issus de la lignée pure Wistar ont été soumis à une exposition durant 90 jours à raison d'une, de deux ou de quatre heures par jour (900 MHz, TAS moyen dans le cerveau : 0,231 W/kg). L'étude a été menée dans des conditions contrôlées (température, climat, lumière). Les valeurs du TAS ont été estimées à partir de l'intensité du champ électrique à 1 m de distance. Outre divers examens relatifs au stress oxydatif et à l'acétylcholinestérase (une enzyme impliquée dans la transmission neuronale), des fonctions cognitives comme la vitesse et l'efficacité de la recherche de la récompense ou de la nourriture ont également été étudiées après exposition aux CEM-HF ou exposition simulée. Après exposition effective, des déficits cognitifs importants augmentant avec la durée d'exposition quotidienne ont été observés. La catalase et la superoxyde dismutase, des enzymes neutralisant le stress oxydatif, ont diminué de manière significative selon le temps d'exposition, tandis que la peroxydation des lipides (dégradation oxydative des lipides pouvant entraîner des lésions des membranes cellulaires et donc des cellules) a augmenté en fonction du temps ; la valeur la plus élevée a été atteinte après quatre heures d'exposition journalière. Dans le même temps, la glutathion S-transférase (GST), la glutathion peroxydase (GPx) et la glutathion réductase (GR), ainsi que la glucose-6-phosphate déshydrogénase (G-6PDH), qui sont des enzymes redox, ont diminué.

Les auteurs attribuent la diminution de l'acétylcholinestérase ainsi que la diminution des capacités mnésiques des rats exposés aux CEM-HF à un stress oxydatif accru. Si l'augmentation de celui-ci n'est pas compensée lors de l'exposition, des maladies neurodégénératives du cerveau et/ou une augmentation de l'activité neuronale peuvent survenir, ce qui peut entraîner des convulsions (épilepsie). Le calcul du TAS est entaché d'une grande incertitude et constitue ainsi un point faible de l'étude.

2) Études expérimentales réalisées sur l'être humain

Dormir à côté d'un routeur : pas d'effets perturbateurs de l'exposition au Wi-Fi sur le sommeil (Danker-Hopfe et al. 2020)

Le public se préoccupe régulièrement de l'exposition nocturne aux ondes émises par les routeurs Wi-Fi, qu'il juge susceptible de provoquer des troubles du sommeil. L'étude de Danker-Hopfe *et al.* (2020) est une première étude expérimentale menée sur l'être humain examinant les effets exercés sur le sommeil par un routeur Wi-Fi émettant durant toute la nuit. Au total, 34 jeunes hommes en bonne santé âgés de 20 à 30 ans ont participé à l'étude durant laquelle ils ont été soumis à une exposition au Wi-Fi (2,45 GHz) ou à une exposition simulée durant leur sommeil. Une nuit de contrôle a été suivie d'une nuit d'exposition réelle ou fictive, et le tout a été répété après une semaine avec l'autre condition (réalisation en double aveugle et randomisée). L'exposition consistait en la soumission à un signal Wi-Fi comportant un flux de données d'intensité variable alternant avec un signal ayant une simple fonction de recherche sans flux de données (*beacon only*). La valeur locale maximale du TAS

était de <25 mW/kg et la moyenne temporelle sur six minutes, de 6,4 mW/kg. Cet état correspond à une exposition assez forte au Wi-Fi, mais reste réaliste dans un environnement domestique.

Les paramètres subjectifs et objectifs du sommeil n'ont pas été affectés par une exposition au Wi-Fi durant toute une nuit. Les réactions de réveil (*arousals*) n'ont pas non plus varié d'une condition d'exposition à l'autre. Ce n'est que dans la deuxième moitié de la nuit que la proportion de sommeil NREM³ de stade 1 (sommeil léger) a légèrement augmenté. L'analyse de la composition spectrale de l'EEG du sommeil NREM a montré une légère réduction de la puissance dans le domaine alpha après exposition au Wi-Fi. Cependant, cette réduction n'est pas une indication de sommeil perturbé et l'ampleur de l'effet était faible. En outre, aucune correction pour les tests multiples n'a été appliquée, de sorte qu'il pourrait également s'agir d'un résultat dû au hasard. En résumé, on peut affirmer que le fait de dormir à côté d'un routeur Wi-Fi n'a pas eu d'effets perturbateurs sur le sommeil. Toutefois la portée de l'interprétation est limitée, car seuls de jeunes hommes en bonne santé ne s'inquiétant pas d'être exposés au Wi-Fi ont été examinés et l'observation s'est limitée à une seule exposition nocturne.

3) Études épidémiologiques

Tumeurs cérébrales et distance entre le domicile et des lignes à haute tension (Carles et al. 2020).

L'étude cas-témoins française CERENAT a porté sur la question de savoir si les personnes vivant à proximité d'une ligne à haute tension développaient des tumeurs cérébrales plus souvent que des personnes n'habitant pas à proximité d'une telle ligne. Elle a inclus 273 patients atteints de gliome et 217 atteints de méningiome diagnostiqués en France entre 2004 et 2006 (taux de participation : 73 %). Au total, 980 personnes de contrôle (taux de participation : 45 %) ont été sélectionnées au hasard dans les registres électoraux. La distance géocodée à la ligne à haute tension la plus proche (<45 kV à 400 kV) a été utilisée pour déterminer l'exposition, sans qu'une distinction entre les lignes aériennes et les câbles ait été opérée. Les auteurs ont calculé la durée d'exposition (temps de séjour au domicile cumulé) dans un couloir de 50 m autour des lignes à haute tension et défini un couloir d'exposition où celle-ci pouvait être supérieure à 0,3 μ T (pour 63 kV : 60 m ; pour 90 kV : 80 m ; pour 150 kV : 100 m ; pour 225 kV : 150 m ; pour 400 kV : 200 m). L'analyse des données a pris en compte plusieurs facteurs de risque (sexe, âge, éducation, consommation de tabac et d'alcool, exposition aux pesticides, exposition aux champs magnétiques domestiques et utilisation de téléphones portables). Au total, 8 % des participants à l'étude ont vécu au moins une fois dans un couloir d'exposition de 0,3 μ T et 5 %, à moins de 50 m d'une ligne à haute tension. La majorité des différentes analyses indiquaient une relation entre l'exposition aux champs magnétiques de basse fréquence et l'apparition de tumeurs cérébrales, mais le nombre de cas d'exposition était faible et l'estimation du risque présentait une grande incertitude (intervalle de confiance, IC)⁴. Ainsi, pour les personnes vivant près d'une ligne à haute tension depuis plus de 15 ans, le risque de tumeur cérébrale était accru d'un facteur 4,33 (base : sept patients ; intervalle de confiance : 1,11-16,9).

³ NRM = *Non Rapid Eye Movement*

⁴ Un intervalle de confiance est un intervalle estimé encadrant la valeur réelle d'un paramètre inconnu avec une probabilité donnée (souvent 95 %).

En principe, la distance par rapport à la ligne à haute tension constitue une mesure d'exposition appropriée, comme le montre l'analyse récemment publiée par Amoon *et al.* (2020)⁵. L'avantage de cette approche est que d'autres facteurs liés aux lignes à haute tension seraient également couverts ; citons à ce propos le champ électrique ou les ions, porteurs d'une charge électrique, apparaissant lors des décharges par effet de couronne des lignes à très haute tension⁶. Cependant, un point faible de cette étude réside dans le fait que chez 30 % des participants, les coordonnées du lieu de résidence étant inconnues, ce sont celles de l'emplacement de l'administration municipale qui ont été utilisées. Toutefois, cela n'aurait eu aucune influence sur les résultats (les résultats ne sont pas indiqués). L'absence de différenciation entre les lignes aériennes et les câbles représente un autre facteur d'incertitude. Le taux de participation aux contrôles est relativement faible (45 %), ce qui constitue un risque potentiel de biais. Le petit nombre de personnes exposées rend l'étude susceptible de faire l'objet de conclusions dues au hasard. On peut supposer qu'un risque accru d'un facteur quatre en rapport avec toutes les lignes à haute tension aurait déjà été détecté antérieurement. Par exemple, une étude beaucoup plus importante réalisée en Angleterre⁷ sur 6781 patients atteints de tumeurs cérébrales et 20 343 personnes témoins n'a pas pu prouver de risque accru de tumeur cérébrale pour les personnes vivant à moins de 50 m d'une ligne à très haute tension (≥ 275 kV) (OR⁸= 1,22, 95 % IC⁹ : 0,88-1,69) ou ayant subi une exposition supérieure à 1 μ T (OR=1,02, 95 % IC : 0,47-2,22) ou une exposition se situant entre 0,40 et 0,99 μ T (0,92, 95 % IC : 0,54-1,55).

Utilisation du téléphone portable et qualité du sommeil autoreportée dans l'étude COSMOS (Tettamanti et al. 2020)

Les premiers résultats de l'étude de cohorte COSMOS sur l'utilisation des téléphones portables et l'apparition de maux de tête, d'acouphènes et de pertes auditives ont été présentés dans la newsletter n° 20 (Auvinen *et al.* 2019)¹⁰. Une deuxième étude a porté sur les relations possibles entre l'utilisation de téléphones portables et la qualité du sommeil autoreportée (Tettamanti *et al.* 2020). Là encore, les données de plus de 24 000 participants de Suède et de Finlande ont été incluses dans l'analyse. Des

⁵ Amoon AT, Crespi CM, Nguyen A, Zhao X, Vergara X, Arah OA, Kheifets L (2020) : **The role of dwelling type when estimating the effect of magnetic fields on childhood leukemia in the California Power Line Study (CAPS)**. Cancer Causes Control. 2020 Jun ; 31(6):559-567. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32277327/>

⁶ Au cours de la dernière période de publication de la newsletter, Toledano *et al.* ont publié une étude portant pour la première fois explicitement sur les effets exercés par les ions, porteurs d'une charge électrique, sur la santé humaine à proximité des lignes à très haute tension ; à cette fin l'étude a ciblé des cas de tumeurs respiratoires et de cancer de la peau (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32276731>). Il existe une hypothèse selon laquelle ces ions se fixeraient sur les aérosols, ce qui pourrait conduire à une adsorption plus efficace dans les voies respiratoires ou sur la peau. Cependant, cette hypothèse n'a pu être confirmée sur la base de plus de 55 000 tumeurs de la bouche, des voies respiratoires et des poumons et de 179 tumeurs kératinocytaires.

⁷ Elliott P, Shaddick G, Douglass M, de Hoogh K, Briggs DJ, Toledano MB (2013) : **Adult cancers near high-voltage overhead power lines**. *Epidémiologie*. 2013 Mar;24(2):184-90. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23337237/>

⁸ OR = Odds Ratio

⁹ IC = intervalle de confiance, voir ci-dessus

¹⁰ Auvinen A, Feychting M, Ahlbom A, Hillert L, Elliott P, Schüz J, Kromhout H, Toledano MB, Johansen C, Poulsen AH, Vermeulen R, Heinävaara S, Kojo K, Tettamanti G ; Groupe d'étude COSMOS (2019) : **Headache, tinnitus and hearing loss in the international Cohort Study of Mobile Phone Use and Health (COSMOS) in Sweden and Finland**. *Int J Epidemiol*. 2019 13 juillet. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31302690>

données sur l'utilisation des téléphones portables ont été recueillies au moyen d'un questionnaire rempli dès le début de l'étude. En outre, des données objectives sur la durée des appels sur les réseaux GSM (2G) et UMTS (3G) ont été recueillies auprès des opérateurs de téléphonie mobile au stade initial de l'étude sur une période de trois mois. Au début de l'étude et quatre ans plus tard, les participants ont rempli un questionnaire portant sur les troubles du sommeil, la durée adéquate du sommeil, la somnolence diurne, le temps d'endormissement et l'insomnie. Le groupe de participants dont les temps de conversation étaient les plus longs (>258 minutes/semaine) présentait un risque d'insomnie plus élevé que ceux passant peu d'appels téléphoniques (OR=1,24, 95 % IC : 1,03-1,51). La corrélation était moins prononcée lorsque les analyses avaient pris en compte le fait que moins de rayonnement était émis lors de l'utilisation du réseau UMTS que lors de celle du réseau GSM. S'agissant des autres aspects de la qualité du sommeil, aucune relation significative avec l'utilisation du téléphone portable n'a été observée.

Outre l'approche prospective mentionnée ci-dessus, les principaux atouts de cette étude sont le très grand nombre de participants à l'étude et l'utilisation de données objectives provenant des opérateurs de téléphonie mobile. Selon les auteurs, le fait que la relation avec l'insomnie soit davantage corrélée à la durée d'utilisation qu'au niveau des émissions du rayonnement suggère que des facteurs autres que les CEM-HF pourraient se révéler pertinents en ce qui concerne la relation observée. Ces facteurs pourraient être, par exemple, le stress, une charge élevée, une utilisation problématique du téléphone portable, une heure de coucher tardive due à l'utilisation du téléphone portable, l'émission de lumière bleue par les écrans ou d'autres facteurs comportementaux.

4) Études dosimétriques

CEM-HF et abeilles (Thielens et al. 2020)

Thielens *et al.* (2020) ont étudié l'absorption des CEM-HF par les abeilles domestiques au moyen de simulations numériques. La gamme de fréquences considérée était comprise entre 600 MHz et 120 GHz. Cinq modèles différents d'abeilles mellifères, soit deux abeilles ouvrières, un faux bourdon, une larve et une reine, ont été générés par des images de micro-CT. Les contours des différentes abeilles ont été segmentés. Les simulations ont été combinées à des mesures effectuées à proximité de ruches en Belgique afin de calculer des estimations les plus réalistes possible de l'exposition et de la puissance absorbée par les abeilles. L'augmentation la plus importante de la puissance absorbée dans les différents modèles se situe entre 600 MHz et 6 GHz. À des fréquences plus élevées, la puissance absorbée diminue à nouveau légèrement. La puissance absorbée dans les modèles peut différer d'un facteur 16 à 121 selon les sections d'absorption qui se trouvent entre 600 MHz et 6 GHz. La valeur de la puissance absorbée pour un champ électrique de 1 V/m va de la gamme des nW à 600 MHz à des fractions de μ W à 6 GHz. Des intensités de champ comprises entre 0,016 et 0,2 V/m ont été mesurées près des ruches. La mesure dans laquelle la puissance absorbée par les abeilles varie lorsque les fréquences utilisées pour la téléphonie mobile passent de moins de 3 GHz à plus de 3 GHz a été étudiée sur la base d'une distribution uniforme de l'intensité de champ sur toute la gamme de fréquences. Un décalage de 10 % des composantes spectrales de moins de 3 GHz vers des fréquences supérieures à 3 GHz entraînerait une augmentation de la puissance absorbée d'un facteur 3 à 5. Un tel passage à des fréquences plus élevées est prévu dans un avenir proche.

Les auteurs eux-mêmes soulignent les différentes limites de cette première étude sur l'absorption du rayonnement des téléphones portables par les abeilles. En effet, aucune mesure diélectrique et aucune mesure thermique des paramètres tissulaires des abeilles n'ont été effectuées, ceux-ci ayant été déterminés sur la base des valeurs de la littérature et d'extrapolations. De plus, les modèles sont

des entités homogènes, c'est-à-dire que les structures (p. ex. les organes) n'ont pas été différenciées. En outre, les auteurs ont utilisé une plate-forme de simulation basée sur le FDTD¹¹ pour les simulations numériques, plate-forme dont les limites en matière de précision sont connues. Par ailleurs, aucun calcul n'a encore été effectué sur l'augmentation de température qui résulte de l'absorption de puissance. Enfin, la question, inhérente aux études de simulation, se pose de savoir jusqu'à quel point les résultats peuvent être confirmés par des mesures, une tâche quasi insoluble dans le cas des abeilles. Bien que les valeurs publiées soient entachées d'une grande incertitude du fait de ces considérations, la principale conclusion de l'étude est toutefois valable : une augmentation de la fréquence entre 600 MHz et 6 GHz entraîne une plus grande absorption de puissance. Cependant, il convient également de se demander à partir de quelles valeurs de la puissance incidente des effets biologiques peuvent s'exercer chez les abeilles. Les abeilles étant, comme l'affirment également les auteurs pour justifier l'étude, des insectes importants sur le plan écologique et économique à l'échelle mondiale, l'étude constitue une contribution importante à la clarification des effets possibles des champs électromagnétiques sur les insectes.

Bibliographie

Carles C, Esquirol Y, Turuban M, Piel C, Migault L, Pouchieu C, Bouvier G, Fabbro-Peray P, Lebaillly P, Baldi I (2020): **Residential proximity to power lines and risk of brain tumor in the general population**. Environ Res. 2020 Jun;185:109473. Epub 2020 Apr 4.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32278161>

Danker-Hopfe H, Bueno-Lopez A, Dorn H, Schmid G, Hirtl R, Eggert T (2020): **Spending the night next to a router - Results from the first human experimental study investigating the impact of Wi-Fi exposure on sleep**. Int J Hyg Environ Health. 2020 May 11;228:113550.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32408065>

Schuermann D, Ziemann C, Barekati Z, Capstick M, Oertel A, Focke F, Murbach M, Kuster N, Dasenbrock C, Schär P (2020): **Assessment of Genotoxicity in Human Cells Exposed to Modulated Electromagnetic Fields of Wireless Communication Devices**. Genes (Basel). 2020 Mar 25;11(4).

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32218170>

Sharma S, Shukla S (2020): **Effect of electromagnetic radiation on redox status, acetylcholine esterase activity and cellular damage contributing to the diminution of the brain working memory in rats**. J Chem Neuroanat. 2020 Mar 20;106:101784.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32205214>

Tettamanti G, Auvinen A, Åkerstedt T, Kojo K, Ahlbom A, Heinävaara S, Elliott P, Schüz J, Deltour I, Kromhout H, Toledano MB, Poulsen AH, Johansen C, Vermeulen R, Feychting M, Hillert L; COSMOS Study Group (2020) : **Long-term effect of mobile phone use on sleep quality: Results from the cohort study of mobile phone use and health (COSMOS)**. Environ Int. 2020 Apr 7:105687.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32276731>

¹¹ FDTD = *Finite Difference Time Domain*, une méthode de simulation de la propagation des ondes électromagnétiques

Thielens A, Greco MK, Verloock L, Martens L, Joseph W (2020) : **Radio-Frequency Electromagnetic Field Exposure of Western Honey Bees**. Sci Rep. 2020 Jan 16;10(1):461.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31949179>

Personne de 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

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

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

[La liste des abréviations](#)