

## Résumé et évaluation des études sélectionnées

De mi-octobre 2020 à début février 2021, 122 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 expérimentales réalisées sur l'être humain

#### *Pas d'altération de la consolidation de la mémoire liée au sommeil suite à une exposition au Wi-Fi de 2,45 GHz (Bueno-Lopez et al. 2020)*

Dans le cadre d'une exposition nocturne unique au Wi-Fi, Bueno-Lopez *et al.* (2020) ont étudié les effets de celui-ci sur la consolidation de la mémoire liée au sommeil ainsi que les corrélations neurophysiologiques y afférentes. Pour ce faire, les auteurs ont analysé les données de 30 hommes jeunes et en bonne santé ayant participé à l'étude de Danker-Hopf *et al.* (2020)<sup>1</sup> (cf. [Newsletter 23](#)). Les participants ont été soumis à une exposition au Wi-Fi (2,45 GHz) ou à une exposition simulée durant leur sommeil. Une nuit de contrôle était suivie d'une nuit d'exposition réelle ou fictive, et l'ensemble a été répété après une semaine avec l'autre condition (réalisation en double aveugle et randomisée). La valeur maximale temporelle du TAS<sub>10g</sub> au niveau de la tête était inférieure à 25 mW/kg et la moyenne temporelle sur six minutes, inférieure à 6,4 mW/kg. Les performances mesurées relevaient de la mémoire déclarative (association de mots), émotionnelle (reconnaissance physiologique) et procédurale (tapotement séquentiel du doigt). Les paramètres de l'EEG du sommeil associés à l'apprentissage ont également été analysés (activité EEG en ondes lentes [0,5-1 Hz] et fuseaux de sommeil [12-14 Hz et 11-16 Hz] en phase NREM).

L'exposition au Wi-Fi n'a eu aucune influence sur la performance mémorielle émotionnelle et procédurale. Dans le test déclaratif réalisé après une nuit, l'amélioration de la performance mémorielle était légèrement plus élevée dans la condition avec Wi-Fi que dans la condition de contrôle. Toutefois, aucun paramètre de l'EEG du sommeil n'a été influencé par l'exposition au Wi-Fi.

Étant donné qu'aucun des paramètres de l'EEG du sommeil supposés jouer un rôle dans l'apprentissage n'a été influencé, il est possible que l'amélioration constatée dans l'exercice d'association de mots, à l'issue d'une nuit d'exposition au rayonnement Wi-Fi, soit le fruit du hasard. En tout état de cause, l'exposition nocturne unique aux ondes Wi-Fi n'a donné lieu à aucune altération des performances cognitives.

---

<sup>1</sup> Danker-Hopf 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>

## **2) Études épidémiologiques**

### *Étude de cohorte relative à l'impact de l'exposition aux téléphones portables sur la fertilité et la qualité du sperme (Hatch et al. 2021)*

Afin d'étudier dans quelle mesure l'exposition aux CEM-HF influait sur la fertilité et la qualité du sperme, Hatch *et al.* (2021) ont analysé les données issues de deux études de cohorte préconceptionnelles et prospectives réalisées entre 2012 et 2020 au Danemark et en Amérique du Nord. Dans ce cadre, quelque 3000 hommes ont été interrogés sur leur durée journalière de port du téléphone portable ainsi que sur l'endroit du corps où ils portaient l'appareil. Durant la période précédant leur grossesse, leurs partenaires féminines ont répondu tous les deux mois à un questionnaire de suivi sur douze mois au maximum, ou jusqu'à ce qu'une grossesse soit avérée. De manière générale, peu d'indices viennent corroborer le fait que porter un téléphone portable dans la poche avant du pantalon ait un impact sur la fertilité masculine. Il a seulement été constaté qu'un temps plus long s'écoulait avant la survenue de la grossesse chez les compagnes d'hommes de poids insuffisant ou normal (IMC <25 kg/m<sup>2</sup>) portant leur téléphone mobile dans la poche avant du pantalon, sans que l'on puisse toutefois noter de relation dose-effet en lien avec le temps de séjour du portable dans la poche. L'analyse de près de 800 échantillons de sperme dans un sous-groupe de ces cohortes n'a pas révélé que le port du téléphone portable dans la poche avant du pantalon influait sur la qualité du sperme (volume, concentration et motilité des spermatozoïdes).

Dans le cadre de cette étude, un certain nombre de perturbateurs potentiels ont été pris en considération : ethnie, formation, IMC des deux partenaires, revenus du foyer, fréquence des rapports sexuels, âge des femmes. S'y sont ajoutés pour les hommes d'autres facteurs d'influence dont il a également été tenu compte : tabagisme, sommeil, profession, âge, antécédents de maladies sexuellement transmissibles, activité physique et consommation de boissons sucrées. En outre, l'exposition a été relevée de manière prospective. Compte tenu de l'ensemble de ces paramètres, cette étude s'avère largement plus pertinente que l'ensemble des études épidémiologiques menées jusqu'ici sur la qualité du sperme. Le résultat obtenu chez les hommes minces pourrait être le fait du hasard. Les auteurs émettent cependant l'hypothèse que la distance entre le téléphone mobile et les testicules étant plus faible chez les hommes minces, ceux-ci pourraient se trouver davantage exposés aux CEM-HF. De manière générale, la quantification de l'exposition constitue une faiblesse de cette étude. Il n'existe à ce jour pas de données permettant de quantifier l'exposition aux CEM-HF due au téléphone portable dans la poche avant du pantalon sur les organes génitaux. Il convient également de remarquer que les participants de l'étude ont testé la qualité du sperme à l'aide d'un autotest à domicile. La question de savoir si cela a eu un impact négatif sur la qualité des données reste incertaine.

### *Corrélation entre problèmes de santé et CEM-HF des stations de base de téléphonie mobile (Martin et al. 2021)*

Dans le cadre d'une étude transversale menée dans cinq grandes villes de France entre 2015 et 2017, les auteurs ont analysé le lien entre les CEM-HF des stations de base de téléphonie mobile et certains symptômes non spécifiques et troubles du sommeil. Ont ainsi été contactés 2641 individus adultes résidant dans des bâtiments situés dans le faisceau principal d'une station de base de téléphonie mobile et à une distance maximale de 250 m de celle-ci. Les stations de base de téléphonie sélectionnées pour l'étude devaient avoir été mises en service depuis plus de deux ans et ne pas avoir fait l'objet d'opposition de la part des riverains au moment de leur installation. Les 354 personnes ayant accepté de participer à l'étude ont été interrogées au téléphone sur leur degré général de préoccupation environnementale, leurs problèmes physiques liés à des facteurs environnementaux,

leurs craintes, leurs éventuels troubles du sommeil et les symptômes non spécifiques qu'ils auraient pu constater. Les participants ont été répartis en trois sous-groupes en fonction de leur degré de préoccupation environnementale : préoccupés, relativement préoccupés et individus se considérant eux-mêmes comme non informés. La mesure de l'exposition aux CEM-HF a été effectuée dans chaque logement en cinq points distincts au moyen d'un mesureur de champ à large bande (100 kHz – 6 GHz), puis suivie d'une analyse spectrale au point présentant le plus haut niveau d'exposition, ce qui a permis de collecter des données d'exposition spécifiques à la source. L'exposition médiane due aux stations de base de téléphonie mobile était de 0,27 V/m (0,44 V/m pour l'ensemble des CEM-HF) et s'échelonnait de 0,03 V/m à 3,58 V/m. La station de base de téléphonie mobile constituait la principale source d'exposition pour 64% des habitations de l'étude. Chez les personnes interrogées, aucun lien n'a pu être observé entre les CEM-HF de la station de base et les symptômes non spécifiques ou les troubles du sommeil constatés au sein de ce groupe. En ce qui concerne les problèmes de sommeil, une interaction significative entre l'exposition aux CEM-HF des stations de base de téléphonie mobile et les préoccupations environnementales a été constatée. Ainsi, en présence d'une exposition aux CEM-HF, le risque de troubles du sommeil augmentait chez les participants préoccupés par les questions environnementales ou non informés, mais demeurait inchangé chez les individus peu préoccupés par cette thématique.

Un point fort de cette étude réside dans la mesure de l'exposition à l'intérieur du logement des participants. Une stratégie de recrutement adaptée avait été choisie en vue de maximiser les différences d'exposition au sein du groupe de personnes étudié. En conséquence, les valeurs d'exposition générées par les stations de base de téléphonie mobile étaient un peu plus élevées que dans les études antérieures similaires. L'échantillon relativement restreint, le taux de participation limité et le design transversal de l'analyse posent néanmoins des limites à l'interprétation. Dans l'ensemble, l'étude ne suggère pas qu'il existe un rapport entre certains symptômes et une exposition aux CEM RF des stations de base de téléphonie mobile au sein de la population générale. Elle note toutefois une association positive entre troubles du sommeil et exposition aux CEM-HF chez les individus préoccupés par les questions environnementales, aussi bien dans le sous-groupe témoignant d'une inquiétude généralisée face aux enjeux écologiques que dans le sous-groupe exprimant des craintes focalisées sur les ondes électromagnétiques. Les interactions observées pourraient refléter un biais d'attribution, ce qui serait le cas si certaines personnes – inquiètes et conscientes de leur statut d'exposition accru – avaient de ce fait eu tendance à aggraver leurs troubles du sommeil dans leurs estimations. À l'inverse, l'augmentation du risque de troubles du sommeil constaté chez les participants non informés s'avère intéressante : ces individus n'ayant pas connaissance de leur statut d'exposition, l'analyse ne peut vraisemblablement pas être faussée par cette information. D'autres études devront confirmer si cette observation résulte d'un lien de cause à effet, du hasard ou d'un autre type de biais.

### **3) Études dosimétriques**

*Étude de simulation sur la pénétration d'ondes millimétriques pulsées (30-90 GHz) dans le conduit auditif (Vilagosh et al. 2020)*

Cette étude visait à analyser le couplage d'ondes pulsées électromagnétiques d'une fréquence comprise entre 30 et 90 GHz dans le conduit auditif de l'être humain au moyen de simulations numériques. Le recours à cette plage de fréquences est de plus en plus souvent envisagé dans le domaine de la technologie automobile, de la communication mobile 5G et de petits réseaux locaux. Entre 30 et 90 GHz, les ondes électromagnétiques sont absorbées par les tissus dès les premiers

millimètres. Dans l'ébauche actuelle des recommandations émises par l'ICNIRP pour la plage de fréquence de 10-300 GHz, les valeurs limites proposées se concentrent donc sur l'absorption au niveau de la peau, des yeux et du conduit auditif. Les seuils sont fixés en fonction de la densité de puissance de l'onde incidente.

L'étude recourt à des modèles de simulation du conduit auditif incluant également le tympan. Le tympan est une zone fortement vascularisée, riche en terminaisons nerveuses et sensible aux inflammations et aux lésions mécaniques. Les ondes électromagnétiques de la simulation ont été modélisées sous forme d'ondes pulsées à des intervalles de 100 et 20 picosecondes, émises chaque fois dans l'une des trois directions d'incidence (à la verticale du conduit auditif, à 30° depuis l'avant et à 45° depuis le haut). Le conduit auditif, le tympan, une partie de l'oreille interne et une partie des structures externes ont été modélisés sur la base de critères anatomiques standard. Les caractéristiques tissulaires diélectriques correspondantes ont été dérivées de données publiées.

Étant donné que la première partie du conduit auditif peut être considérée comme approximativement cylindrique, il est possible d'estimer que les ondes électromagnétiques s'y propagent comme dans un guide d'ondes cylindrique. Compte tenu de ces dimensions physiques, une pénétration des ondes dans la plage de fréquence inférieure à 30 GHz a pu être exclue. Au-delà de 30 GHz cependant, des ondes peuvent se propager à l'intérieur du conduit auditif et poursuivre leur chemin vers l'intérieur de l'oreille et jusqu'au tympan.

Les résultats de l'étude font apparaître une corrélation entre la densité de puissance incidente à l'entrée du conduit auditif et au niveau du tympan dans les différents scénarios. Dans le cas d'une onde verticale pulsée à 30 GHz, 0,2 % seulement de la densité de puissance incidente parvient au tympan, contre 13,8 % à 90 GHz. Pour une densité de puissance de 90 GHz, telle qu'autorisée en exposition professionnelle, une augmentation de température de 0,032 °C (+20 %/-50 %) a par ailleurs été estimée. Les auteurs recommandent par conséquent d'étudier de manière plus approfondie l'exposition du tympan et des structures situées à l'arrière de celui-ci pour les fréquences supérieures à 60 GHz et de tenir compte de ces données pour la définition des valeurs limites.

Cette étude visait à effectuer une première estimation numérique des possibles répercussions induites par une exposition du tympan à des ondes électromagnétiques d'une fréquence supérieure à 10 GHz. Les auteurs ont mené leurs analyses sur une partie du conduit auditif humain et les tissus qu'il contient en recourant à une modélisation numérique. Les propriétés diélectriques et thermiques des tissus correspondants ont été dérivées des quelques données disponibles en la matière. L'étude a été menée avec un soin minutieux et tient compte d'un grand nombre de scénarios différents. Dans des études complémentaires, les auteurs ont évalué de nouveaux procédés de définition des propriétés thermiques des tissus dans le champ THz<sup>2,3</sup>. Selon eux, dans le domaine d'exposition auquel sera soumis le public, il est peu probable de voir apparaître des effets notables sur la santé. Ils signalent néanmoins que des densités de puissance plus importantes pourraient en revanche avoir des répercussions sur l'oreille interne.

---

<sup>2</sup> Vilagosh Z, Lajevardipour A, Appadoo D, Juodkazis S, Wood A (2021) : **Using Attenuated Total Reflection (ATR) Apparatus to Investigate the Temperature Dependent Dielectric Properties of Water, Ice, and Tissue-Representative Fats**. Appl Sci 11: 2544. <https://doi.org/10.3390/app11062544>.

<sup>3</sup> Vilagosh Z, Lajevardipour A, Appadoo D, Ng S, Juodkazis S, Wood A (2020) : **Characterisation of Biological Materials at THz frequencies by Attenuated Total Reflection**: Lard. Appl Sci 10(23): 8692. <https://doi.org/10.3390/app10238692>.

## Bibliographie

Bueno-Lopez A, Eggert T, Dorn H, Schmid G, Hirtl R, Danker-Hopfe H (2020) : **Effects of 2.45 GHz Wi-Fi exposure on sleep-dependent memory consolidation.** J Sleep Res. 2020 Nov 9:e13224.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33166026/>

Hatch EE, Willis SK, Wesselink AK, Mikkelsen EM, Eisenberg ML, Sommer GJ, Sorensen HT, Rothman KJ, Wise LA (2021) : **Male cellular telephone exposure, fecundability, and semen quality: results from two preconception cohort studies.** Hum Reprod. 2021 Feb 10:deab001.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33564831/>

Martin S, De Giudici P, Genier JC, Cassagne E, Doré JF, Ducimetière P, Evrard AS, Letertre T, Ségala C (2021) : **Health disturbances and exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile-phone base stations in French urban areas.** Environ Res. 2021 Feb;193:110583. Epub 2020 Dec 4.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33285159/>

Vilagosh Z, Lajevardipour A, Wood A (2020) : **Computer simulation study of the penetration of pulsed 30, 60 and 90 GHz radiation into the human ear.** Sci Rep. 2020 Jan 30;10(1):1479.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32001770/>

## 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 \(PDF\)](#)